



UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA
DEL PERÚ

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Electrónica

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN LÓGICA DIFUSA PARA EL PROCESO DE MOLIENDA”

Autor: Hedilberto Richard Huaman Huacho

Para obtener el Título Profesional de

Ingeniero Electrónico

Asesor: Mag. Gabriel Tirado Mendoza

Lima, mayo 2019

DEDICATORIA

A mi padre Cananio y madre Olga, por confiar en mí. A mi esposa Mayra e hija Kendall por darme la fuerza de avanzar cada día

AGRADECIMIENTO

A mis padres y esposa, porque a pesar de sus limitaciones me dan su apoyo incondicional y todas las fuerzas cuando quiero desistir, ya que cada paso que doy es más difícil que el anterior. A todos mis hermanos por aportar su granito de arena durante todo este tiempo, en especial a Hans por su asesoría y apoyo constante.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de control basado en lógica difusa, aplicado a la mejora del proceso de molienda de minerales, para ello se verifico el funcionamiento de los instrumentos involucrados en el control de molienda y a la vez realizando análisis de datos con la información recolectada de la base de datos del sistema para modelar en bloque de control.

Para ello se desarrolló un bloque de control en la plataforma del System, 800 de ABB, se realizó bajo esta plataforma ya que nuestro cliente ya contaba con estos softwares de diseño y desarrollo, se entrenó a un bloque de control con la experiencia de los operadores de planta creando variables y reglas de funcionamiento en el diseño.

Obteniendo como resultado la estabilidad del proceso de molienda,

aumentando la confiabilidad en el sistema de control de la planta, aumentando la producción de minerales y a la vez el buen desempeño del funcionamiento de la molienda con lleva a la recuperación optima de ley de minerales en los procesos siguientes

CARTA DE AUTORIZACIÓN



CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO DE DATOS EN PROYECTO

Lima, 08 de Agosto de 2018

Yo, Hans Lenin Huaman Huacho, identificado con DNI N° 008050820, Gerente de Proyectos, representante de la PK Soluciones S.A.C. con RUC N° 20602465846, autorizo a Hedilberto Richard Huaman Huacho, utilizar los datos de la organización necesarios para desarrollar su Informe de Suficiencia Profesional referidos al proyecto Implementación del Sistema FLC () para el Proceso de Molienda – Molino 7.



Hans Huaman Huacho
GERENTE GENERAL
PK SOLUCIONES S.A.C

Firma y Sello Representante de Empresa

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
CARTA DE AUTORIZACION	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Formulación del problema.....	2
1.2 Definición de objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcances y limitaciones.....	3
1.3.1 Alcances.....	3
1.3.2 Limitaciones.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Estado del arte.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Procesamiento de molienda de minerales.....	6
2.2 Controlador AC 800M – ABB.....	7
2.3 Arquitectura 800xA para funciones Historian.....	10
2.4 System 800xA Engineering Process Graphics.....	11
2.5 Logica Difusa.....	16
2.6 Tareas en el diseño de sistemas basados en lógica difusa.....	20
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	21
3.1 Levantamiento de información del proceso de molienda.....	21
3.1.1 Situación Actual.....	21
3.1.2 Control de Nivel en los cajones de alimentación.....	23

3.2 Extracción y Análisis de datos del sistema de control actual.....	25
3.2.1 Creación de Históricos de datos.....	25
3.2.2 Ubicación de descripción de los tags.....	25
3.2.3 Análisis de variables de control.....	32
3.3 Diseño y desarrollo del sistema de control mediante logica difusa.....	34
3.3.1 Desarrollo y diseño de las pantallas de operaciones.....	35
3.3.1.1 Desarrollo de ventanas de ingreso a tendencias.....	44
3.3.2 Desarrollo del bloque de control difuso.....	47
3.3.2.1 Desarrollo de la matriz FAM, terminos linguisticos.....	47
3.3.2.2 Desarrollo del bloque de control difuso.....	52
3.3.2.3 Modo de funcionamiento y sintonía del sistema experto	70
3.3.2.4 Modo de operacion del sistema experto.....	71
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	72
4.1 Resultados del sistema.....	72
4.1.1 Resultados de desarrollo de las pantallas de control.....	72
4.1.2 Comparación de resultados de antes y después del proyecto.....	74
4.1.2.1 Cuadro de comparación de resultados con el sistema experto.....	74
4.2 Validación de resultados.....	76
4.3 Contraste de resultados.....	83
PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	85
CRONOGRAMA.....	86
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFIA.....	88
GLOSARIO.....	90
ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Vista esquemática de interior de molinos de barras y bolas.....	7
Figura 2.2: Ejemplo de un controlador AC 800M con una unidad de E / S S800.....	8
Figura 2.3: Unidad de procesador - (general (aquí se muestra con PM861)).....	8
Figura 2.4: Arquitectura de comunicaciones con el AC 800xA.....	11
Figura 2.5: Ejemplo de diseño de pantallas graficas en el Process Graphics.....	12
Figura 2.6: Pantalla de edición del Graphics Builder.....	13
Figura 2.7: Representación de conjuntos clásicos y difusos.....	17
Figura 2.8: Ejemplos de Reglas IF-THEN	21
Figura 3.1: Estado de los instrumentos de control del molino marcado con X.....	22
Figura 3.2: Faceplete de la ventana de seteo de la válvula de control.....	23
Figura 3.3: Pantalla de ingreso a la ventana de control del molino 7.....	26
Figura 3.4: Instrumentos y variables de control mostrados en la sala de operaciones.....	27
Figura 3.5: Excel para la extracción de datos.....	27
Figura 3.6: Selección del icono para interacción del Excel con el System 800.....	28
Figura 3.7: Asignación para extracción de históricos.....	30
Figura 3.8: Selección de las variables a extraer.....	29
Figura 3.9: Configuración del periodo de tiempo de variables a extraer.....	30
Figura 3.10: Selección de las opciones de salida de los datos.....	31
Figura 3.11: Selección de inicio de tablas para asignar los datos a extraer al excel.....	31
Figura 3.12: Cuadro de promedios de variables de control del molino.....	32
Figura 3.13: Análisis y verificación del comportamiento de datos en el tiempo.....	33
Figura 3.14: Cuadro de dispersión de comparación de Tonelaje vs densidad.....	33
Figura 3.15: Pantalla de ingreso a la plataforma de Graphics Builder.....	36
Figura 3.16: Ingreso a las librerías del Process Graphics.....	36
Figura 3.17: Pantalla principal de diseño.....	37
Figura 3.18: Icono de encendido y apagado, control experto tonelaje.....	38
Figura 3.19: Icono de encendido y apagado, control experto Nivel.....	38
Figura 3.20: Iconos de ingreso de límites de rangos de tonelaje.....	39

Figura 3.21: Ventana de ingreso de tonelaje mínimo.....	39
Figura 3.22: Ventana de ingreso de tonelaje máximo.....	40
Figura 3.23: Funcionalidades de iconos del sistema experto.....	40
Figura 3.24: Parámetros de acceso bloque fuzzy VFD faja de alimentación.....	41
Figura 3.25: Parámetros de acceso bloque fuzzy control de válvula de agua.....	42
Figura 3.26: Parámetros de acceso bloque fuzzy VFD válvula de ingreso de agua.....	43
Figura 3.27: Parámetros de acceso bloque fuzzy VFD bomba de descarga.....	43
Figura 3.28: Ventana de ingreso a tendencias del sistema experto.....	44
Figura 3.29: Tendencias de las variables de control.....	45
Figura 3.30: Selección de periodos de muestra de tendencias.....	46
Figura 3.31: Selección de rangos mínimos y máximos.....	46
Figura 3.32: Funciones de membresía rangos de densidad.....	48
Figura 3.33: Funciones de membresía rangos de ingreso de Mineral.....	49
Figura 3.34: Funciones de membresía rangos de ingreso de Agua al molino.....	50
Figura 3.35: Matriz FAM del proceso.....	52
Figura 3.36: Pantalla Engineering Workplace System 800xA.....	53
Figura 3.37: Pantalla dentro del Control Structure ingreso a bloque molienda.....	54
Figura 3.38: Ventana para ingreso al Control Builder.....	55
Figura 3.39: ControlFuzzyLib 1.4-1, librería de herramientas de desarrollo fuzzy.....	55
Figura 3.40: Librería de control modules establecidos.....	56
Figura 3.41: Ingreso al CMD Editor.....	57
Figura 3.42: Modulo de control de desarrollo de los bloques 3 x 2 y 2 x 1.....	58
Figura 3.43: Bloque de control Fuzzy 3 x 2.....	58
Figura 3.44: Diseño del bloque difuso 3x2.....	59
Figura 3.45: Interior del bloque difuso desarrollado para la programación y direccionamiento de reglas, entradas y salidas.....	60
Figura 3.46: Programación y creación de entradas difusas.....	61
Figura 3.47: Conexión de funciones de membresía.....	62
Figura 3.48: Asignación de parámetros de función de membresía.....	62
Figura 3.49: Parámetros de conexión defunciones de membresía.....	63
Figura 3.50: Conexión de funciones de membresía de fuzzyficacion.....	63
Figura 3.51: Determinando el número de reglas.....	64

Figura 3.52: Ingreso de funciones de membresía establecidas en los Control modules.....	64
Figura 3.53 Funciones de membresía establecidas en valores Low, Medium y Hihg.....	65
Figura 3.54: Activación y desactivación de reglas de control establecidas.....	65
Figura 3.55: Conexión de función de defuzzificacion.....	66
Figura 3.56: Ingreso de una función de salida desfuzzificada.....	67
Figura 3.57: Conexión de salida defuzzificada.....	67
Figura 3.58: Reglas para activar los escenarios de salida.....	68
Figura 3.59: Ventana de interacción en modo Online.....	69
Figura 3.60: Ventana para sintonía de reglas.....	70
Figura 3.61: Sintonía y declaración de nuevas reglas de control.....	71
Figura 4.1: Pantalla de operaciones molino 7, incluida la ventana del sistema experto.....	74
Figura 4.2: Comportamiento del proceso antes de tener el sistema experto.....	75
Figura 4.3: Prueba del comportamiento del proceso con el sistema experto.....	76
Figura 4.4: Protocolo de validación en la segunda guardia fecha: 10/05/17.....	77
Figura 4.5: Protocolo de validación en la primera guardia fecha: 11/05/17.....	78
Figura 4.6: Protocolo de validación en la segunda guardia fecha: 11/05/17.....	79
Figura 4.7: Protocolo de validación en la primera guardia fecha: 13/05/17.....	80
Figura 4.8: Protocolo de validación en la segunda guardia fecha: 16/05/17.....	81
Figura 4.9: Protocolo de validación en la guardia completa fecha: 02/06/17.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Lista de instrumentos y estado de funcionamiento.....	24
Tabla N° 3.2: Rango del nivel de cajón de descarga del molino indicados por el metalurgista.....	34
Tabla N° 3.3: Rango de funcionamiento del flujo de descarga indicado por el metalurgista.....	34
Tabla N° 3.4: Rango de funcionamiento de la densidad de descarga indicado por el metalurgista.....	35
Tabla N° 3.5: Terminos linguisticos y asignacion de rangos, Densidad.....	48
Tabla N° 3.6: Terminos linguisticos y asignacion de rangos, Mineral fresco	49
Tabla N° 3.7: Terminos linguisticos y asignacion de rangos, Ingreso de agua al Molino.....	49
Tabla N° 3.8: Terminos linguisticos y asignacion de rangos, Ingreso de agua al cajón de bombas.....	50
Tabla N° 3.9: Terminos linguisticos y asignacion de rangos, Nivel del cajón de bombas.....	51
Tabla N° 4.1: Muestra obtenida en el mes de abril, trabajando sin el sistema experto por 7 días.....	83
Tabla N° 4.2: Muestra obtenida en el mes de mayo, con el sistema experto funcionando.....	83
Tabla N° 4.3: Contraste de resultados Abril VS Mayo.....	84

INTRODUCCIÓN

El propósito del presente caso tiene como objetivo evaluar el impacto económico de la implementación del sistema de control basado en lógica difusa para el circuito de control de molienda en el proceso metalúrgico en la planta concentradora de la Minera Condestable.

En Latinoamérica los primeros países en traer y adaptar los sistemas de control de lógica difusa aplicado al problema de inestabilidad y producción en el proceso de molienda y distintas áreas (Chancado, flotación y Filtrado), son los países de Chile, Brasil, posteriormente países como Colombia, Ecuador y Perú.

El crecimiento en la industria minera y el objetivo de mantener cierta calidad en los productos, y estabilidad en sus procesos con lleva a que las empresas busquen nuevos sistemas para controlar y optimizar sus diversos procesos, la planta de molienda con lleva mucha variabilidad operacional, debido a que varios aspectos intervienen en su proceso, fluctuaciones en el proceso de entrada al molino, limitaciones en sus sistemas de instrumentación y control del molino. Mata, (2016).

El circuito de molienda es uno de los procesos más importantes en la producción de minerales debido a que los procesos posteriores tales como, la flotación de minerales y filtrado de minerales, depende de la molienda para obtener la ley adecuada y la producción establecida.

Los factores más importantes que motivan a la búsqueda de nuevas tecnologías más eficientes de procesamiento en las operaciones mineras son, el incremento sostenido en la dureza de sus minerales, lo que incrementa de manera significativa el consumo de energía.

La aplicación de sistemas de control difusos o predictivos en el proceso de molienda permite optimizar las operaciones de la planta independientemente de la experiencia y habilidad de los operadores, ya que estos controles están entrenados con la experiencia de un especialista, lo cual no conlleva que el operador tema perder el control de su proceso que tiene a cargo, debido a la variabilidad el circuito.

Este trabajo de investigación está organizado de la siguiente forma. En el capítulo I: se plantea la problemática, los objetivos y el estado del arte; en el capítulo II: el marco teórico que contiene los siguientes puntos; Proceso de conminucion de minerales, características de la molienda de minerales, lógica difusa, controladores difusos; en el capítulo III: Diseño del sistema de control; en el capítulo IV: Simulación, resultados, conclusiones y trabajos futuros.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del problema:

En la actualidad las distintas operaciones mineras en sus distintas áreas (Chancado, molienda, flotación, etc.) usan los controles convencionales tales como PID, control de relación, etc. Uno de los problemas con estos tipos de control, es que controlan los procesos de forma independiente, una variable a la vez y no pueden interactuar entre ellos.

Una de las causas que origina la inestabilidad en el proceso de molienda en la unidad de producción de la minera Condestable, es la dureza variable en sus minerales que ellos denominan (Work index) y estas varían en los siguientes valores (22 mineral suave, 25 mineral normal, 28 mineral duro), esto genera inestabilidad en el circuito de molienda lo cual conlleva a una ineficiente molienda y pérdida de valores en la etapa de flotación. A la vez el incremento de dureza del mineral genera sobre carga en el molino, para aliviar esto el operador detiene la faja de alimentación al molino por determinado tiempo generando una disminución en la producción lo cual genera pérdidas para la compañía.

Con la presente investigación pretendo solucionar los problemas mencionado para esto se realizó el enfoque en sistemas avanzados, lógica difusa, redes neuronales, modelos de control predictivo (MPC), se escogió el sistema de control de lógica difusa ya que la arquitectura y el equipamiento actual permite implementar sistemas difusos embebidos, con el fin de obtener los siguientes beneficios: estabilización en el control de molienda, incremento en la producción.

1.1.1 Formulación del Problema

1.1.1.1 Problema Principal

- ¿De qué manera se puede reducir la inestabilidad del proceso de control de molienda de minerales en la minera Condestable?

1.1.1.2 Problema Secundario

- ¿Cuál es la situación actual del proceso?
- ¿Cuáles son las variables o parámetros del proceso a controlar?
- ¿De qué manera detener la pérdida de valores de recuperación en el proceso de flotación?

1.2 Definición de Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de control con aplicación de lógica difusa (FLC), para estabilizar el proceso de mineral en el circuito de control de molienda.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantamiento de información de la situación actual del proceso de molienda de minerales.
- Extracción y análisis de datos del sistema de control actual
- Desarrollo de una estrategia de control mediante la aplicación de lógica difusa (Fuzzy Logic),

1.3 Alcances y Limitaciones

1.3.1 Alcances

- El alcance del presente trabajo es implementar un sistema de control difuso aplicado al proceso de molienda para estabilizar dicho proceso.
- Verificación del estado y funcionamiento de los instrumentos de control del molino.
- Aplicación de Sistemas difusos (Fuzzy Designer) en el SCADA System 800 –ABB, existente.
- Elaboración y definición de reglas difusas.
- Diseño de la matriz FAM (Fuzzy Associative Matrix).
- Desarrollo de modelo experto fuzzy logic control (FLC)_1
- Descarga de librerías y control module fuzzy.
- Desarrollo de modelo experto fuzzy logic control (FLC)_2
- Calibración, mantenimiento y sintonía de instrumentos de control del molino
- Diseño de pantallas del nuevo control Fuzzy del molino.
- Sintonía del sistema experto.
- Pruebas con carga y puesta en servicio.

1.3.2 Limitaciones

- La entrega de información comprometida por el cliente, no cumplieron los plazos de entrega.
- Escasa información sobre sistemas de control difuso orientadas a molienda de minerales.

1.4 Justificación

Con los sistemas de control actuales no se cumplen con los objetivos de producción establecidos por la gerencia de la minera. La importancia de la investigación reside en el aporte para la solución en la estabilización en el control de molienda e incremento de la producción de minerales. La investigación propondrá nuevos métodos para generar conocimientos mediante uso de tecnologías basados en lógica difusa para los diferentes procesos en la minería

Al implementar un sistema de control difuso, se logrará un proceso más eficiente y se economizará en los costos de mantenimiento, ahorro de energía y elevando la producción de minerales esto beneficia económicamente a la empresa.

1.5 Estado del Arte

Desde el punto de vista del control y optimización en plantas mineras, factores como la dinámica no lineal, multivariable y algunas restricciones del proceso de minería deben ser manejadas de manera efectiva. Además, Sahasrabudhe, (2006).

Uno de los resultados entre una comparación de controladores MPC vs controladores MPSP, aplicados a un circuito cerrado de molienda de minerales se describe y concluye que puede ser considerado el MPSP como un candidato potencial para aplicaciones en línea de la filosofía MPC no lineal a la planta de proceso industrial. Le Roux, (2014)

En nuestro país una de las primeras empresas mineras en buscar soluciones a la inestabilidad de su proceso de molienda y obtener la calidad adecuada de sus minerales, mediante controles con lógica difusa es Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A, el proceso de conminución o molienda de minerales es un proceso clave para una óptima operación y ahorro,

por eso la empresa Cerro Verde SAC, mediante la implementación y puesta en marcha circuitos pilotos, que le permitan mejorar la inestabilidad de la molienda y con esto la liberación de partículas valiosas del mineral, busco mejorara la calidad de sus minerales, la capacidad de producción de minerales y un mejor manejo en el control de la operación para así evitar decremento en su producción, estabilidad y un mejor control. Chillcce & Rojas, R (2012).

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Proceso de molienda de minerales.

El producto final de las etapas de chancado ingresa al proceso de molienda de minerales y en su mayoría tienen un tamaño menor a ½ plg. Para llegar a los tamaños indicados por el metalurgista, decenas de micrómetros, se realizan nuevas etapas de reducción de tamaños, denominadas molienda. La molienda se realiza habitualmente en cilindros rotatorios que contienen diferentes medios moledores en su interior, los que son levantados por la rotación del cilindro, para triturar las partículas minerales por medio de la combinación de diferentes mecanismos de trituración, como son impacto y abrasión principalmente. Los medios de molienda pueden ser el mismo mineral (molinos autógenos), medios no metálicos naturales o manufacturados (molinos de pebbles) o medios metálicos manufacturados (molinos de barras o molinos de bolas). Chillcce, V & Rojas, R. (2012).

En general el término molino rotatorio incluye molinos de barras, molinos de bolas, molinos de guijarros y molinos autógenos. El molino rotatorio posee una forma cilíndrica o cónico - cilíndrica, que rota en torno a su eje horizontal. La velocidad de rotación, el tipo de revestimiento y la forma y tamaño de los medios de molienda son seleccionados para proveer las condiciones deseadas de operación para cada aplicación específica de molienda.

La alimentación al molino rotatorio se realiza a través del orificio del muñón de entrada. El método de descarga del producto varía dependiendo del diseño de la descarga del molino. El método de descarga rápida o por rebalse permite al mineral molido pasar a través del orificio del muñón de salida del molino. En un molino con parrilla de retención al interior del molino, el mineral debe ser molido a un tamaño tal que las partículas puedan pasar a través de la parrilla.

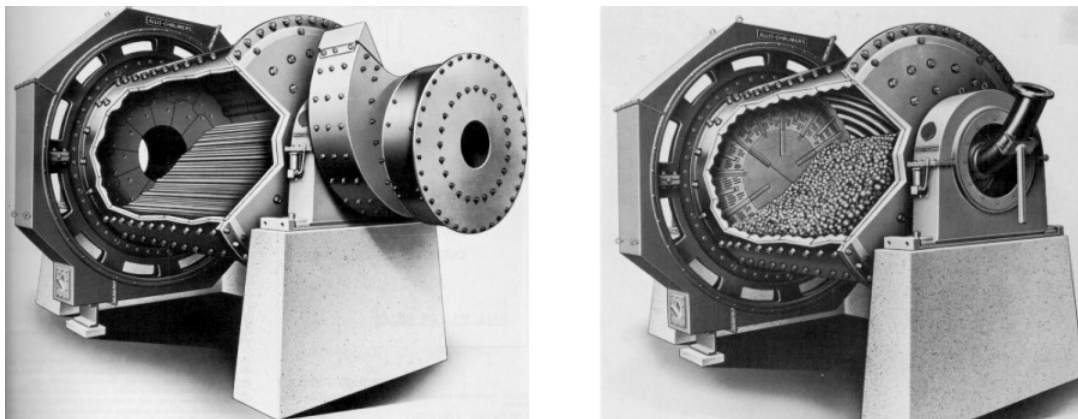


Figura 2.1: Vista esquemática del interior de molinos de barras y de bolas.

Fuente: (Chillcce, V & Rojas, 2012, p.47).

2.2 Controlador AC 800M - ABB.

El controlador AC 800M consiste en una selección de unidades montadas en horizontal Rieles DIN, que pueden ser alojados dentro de un recinto. La mayoría de las unidades consisten en una placa de montaje de la base y un módulo extraíble unidos con tornillos. Las unidades de hardware que forman el controlador AC 800 M son:

- ✓ Unidad de procesador central (CPU)
- ✓ Módulos de interfaz de comunicación para diferentes protocolos.
- ✓ Módulos de E / S S800
- ✓ Módulos de alimentación.

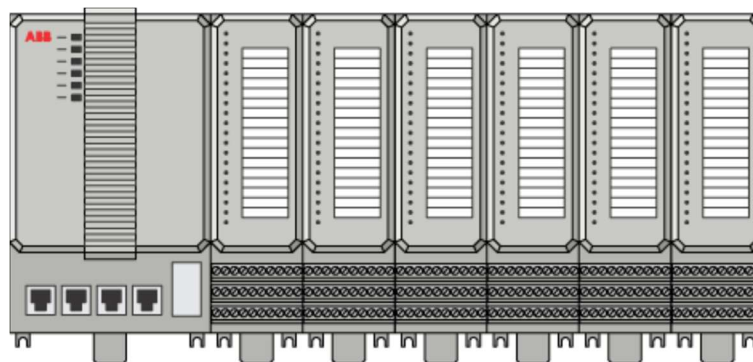


Figura 2.2: Ejemplo de un controlador AC 800M con una unidad de E / S S800.

Fuente: (System 800xA Control, 2011, p.67)

La CPU consta de una placa base TP830 (placa terminal) y un módulo procesador PM8XX

2.2.1 Unidad Central de Procesamiento (CPU)

La placa base TP830 lleva la mayoría de las conexiones al procesador, la potencia, suministros e interfaces de comunicación, así como a buses externos.

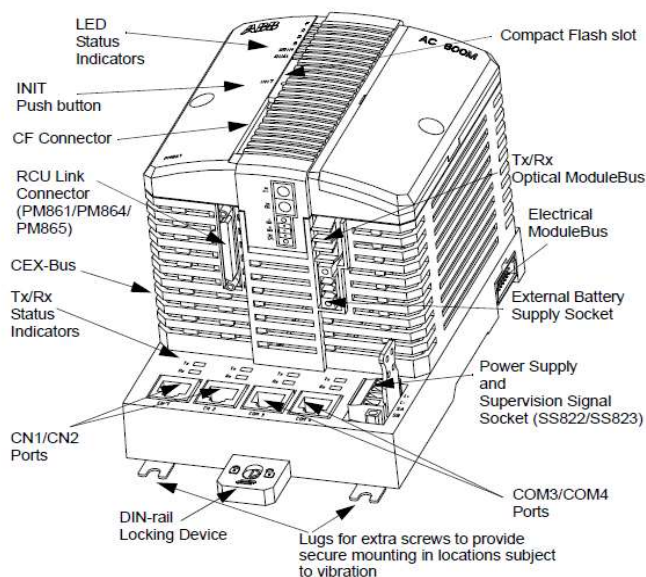


Figura 2.3: Unidad de procesador - Vista general (aquí se muestra con PM861).

Fuente: (Industrial AC 800M and S800 I/O, 2009, p.10)

2.2.2 Interface de comunicación

Interfaz de comunicación conectada con el bus CEX:

Se pueden colocar hasta 12 unidades de comunicación en el Bus de expansión de comunicación (CEX) bus.

El bus CEX debe terminarse si hay una unidad de comunicación conectada. Un bus CEX la terminación se entrega con la CPU e: tb850 (macho) o TB851 (hembra). Un cable de extensión TK850 con conector DB25P con carcasa metálica y una longitud se puede usar de 0,7 metros (1,3 ') para extender el bus CEX a un segundo riel DIN.

2.2.3 S800 I/O

S800 I/O es un sistema de E/S modular y distribuido que se comunica con controladores sobre PROFIBUS-DP / DPV1 o directos (a través de Modulebus).

El sistema de E / S S800 está montado en un riel DIN y consta de comunicación Fieldbus, interfaces, módems Modulebus, módulos de E / S S800 y unidades de módulos de terminación. (MTU). Los módulos de E / S S800 (no S800L) están montados en MTU, esto los hace intercambiables en caliente. Depende del requerimiento de montaje (horizontal o vertical) y en las necesidades de terminación de campo (alimentación, fusión, etc.) hay numerosos MTU para escoger.

El sistema de E / S S800 admite aplicaciones totalmente redundantes, la redundancia se puede construir tanto en el nivel de comunicación como en el nivel del módulo de E / S. S800 I / O conectado con PROFIBUS-DP / DPV1:

- ✓ La interfaz de comunicación de campo CI801 o CI840 es la estación maestra de E/S
- ✓ Máximo 24 módulos de E / S por estación de E / S.
- ✓ 1 grupo base de E / S con hasta 12 módulos de E / S (conectados a través de

Modulebus eléctrico).

- ✓ 1-7 clústeres de E / S adicionales con hasta 12 módulos de E / S por clúster (conectados a través de Modulebus óptico usando módems Modulebus).

2.3 Arquitectura 800xA para funciones Historian

2.3.1 Descripción general

El sistema 800xA admite una amplia gama de funciones históricas y de informes. Muchas de estas funciones, como el archivo, requieren el software Information Manager. Sin embargo, el Historian realiza la recopilación histórica básica en el Servidor de conectividad, por lo que está disponible como una función básica del Sistema 800xA.

Si el administrador de información está instalado en el sistema, obtiene sus datos de los registros históricos básicos del Servidor de Conectividad utilizando el protocolo estándar HDA de OPC. Este protocolo, a diferencia del protocolo DA, puede obtener múltiples valores para el mismo punto con una solicitud. Si la máquina de Information Manager está fuera de línea por un tiempo, no hay pérdida de datos porque puede recuperar todo el período de tiempo del Servidor de Conectividad cuando vuelve a estar en línea.

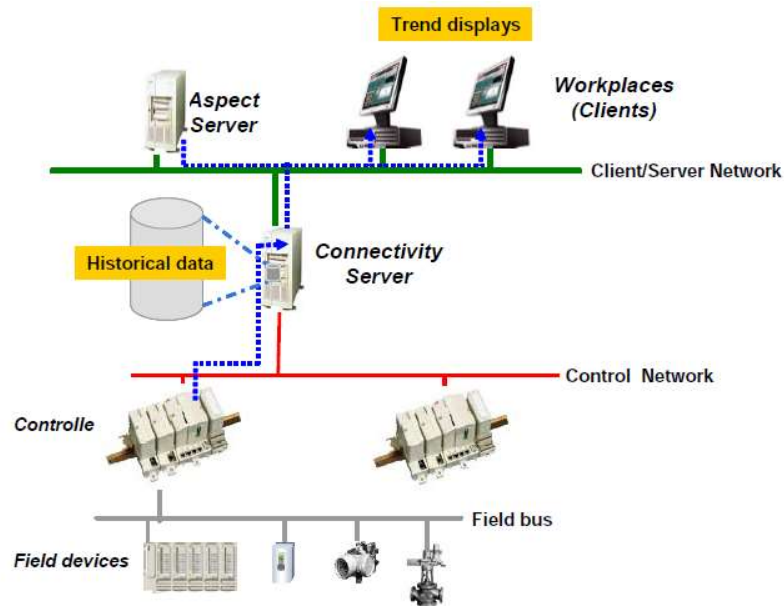


Figura 2.4: Arquitectura de comunicaciones con el AC 800xA.

Fuente: (System 800xA Engineering, 2013, p.3)

El servidor suele ser redundante, por lo que es poco probable que los datos se pierdan debido a una falla. Ambos Servidores de conectividad siempre están recopilando los datos, de modo que, si uno está fuera de línea, volverá a llenarse desde el otro cuando vuelva al servicio.

La recopilación de datos se realiza utilizando el estándar OPC DA, pero el Basic Historian también tiene la capacidad de recopilar datos a través de algunos protocolos propietarios, como los registros TTD de los controladores AC 400.

2.4 System 800xA Engineering PROCESS GRAPHICS

Process Graphics proporciona las herramientas para crear una interfaz gráfica de usuario para supervisión y operación de un sitio. Lo siguiente se puede realizar en Process Graphics:

- Creación de bloques de construcción (por ejemplo, representación gráfica de Tanque o Válvula), elementos gráficos que se utilizan para construir pantallas gráficas.
- Construcción de pantallas gráficas que proporcionan una visión general del sitio.

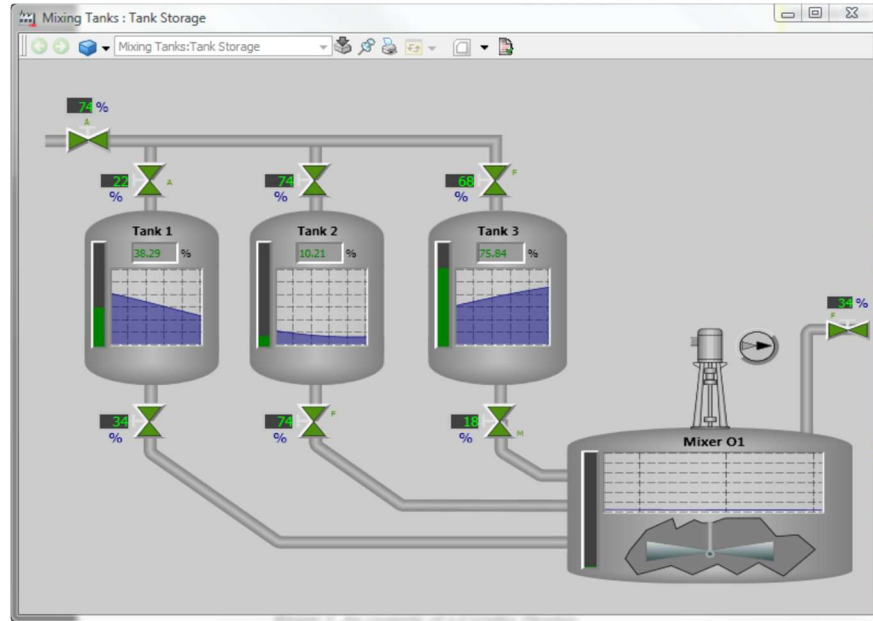


Figura 2.5: Ejemplo de diseño de pantallas graficas en el Process Graphics.

Fuente: (System 800xA Training, 2011, p.26)

2.4.1 Graphics Builder

Graphics Builder es una herramienta que ayuda a configurar aspectos gráficos tales como gráficos. Pantallas, elementos gráficos y elementos de placa frontal. Las partes principales de Gráficos.

Son el Panel de edición, la Barra de menús, la Barra de herramientas, la ventana del Cuadro de herramientas, el Editor de expresiones, ventana de propiedades, barra de estado y explorador de elementos.

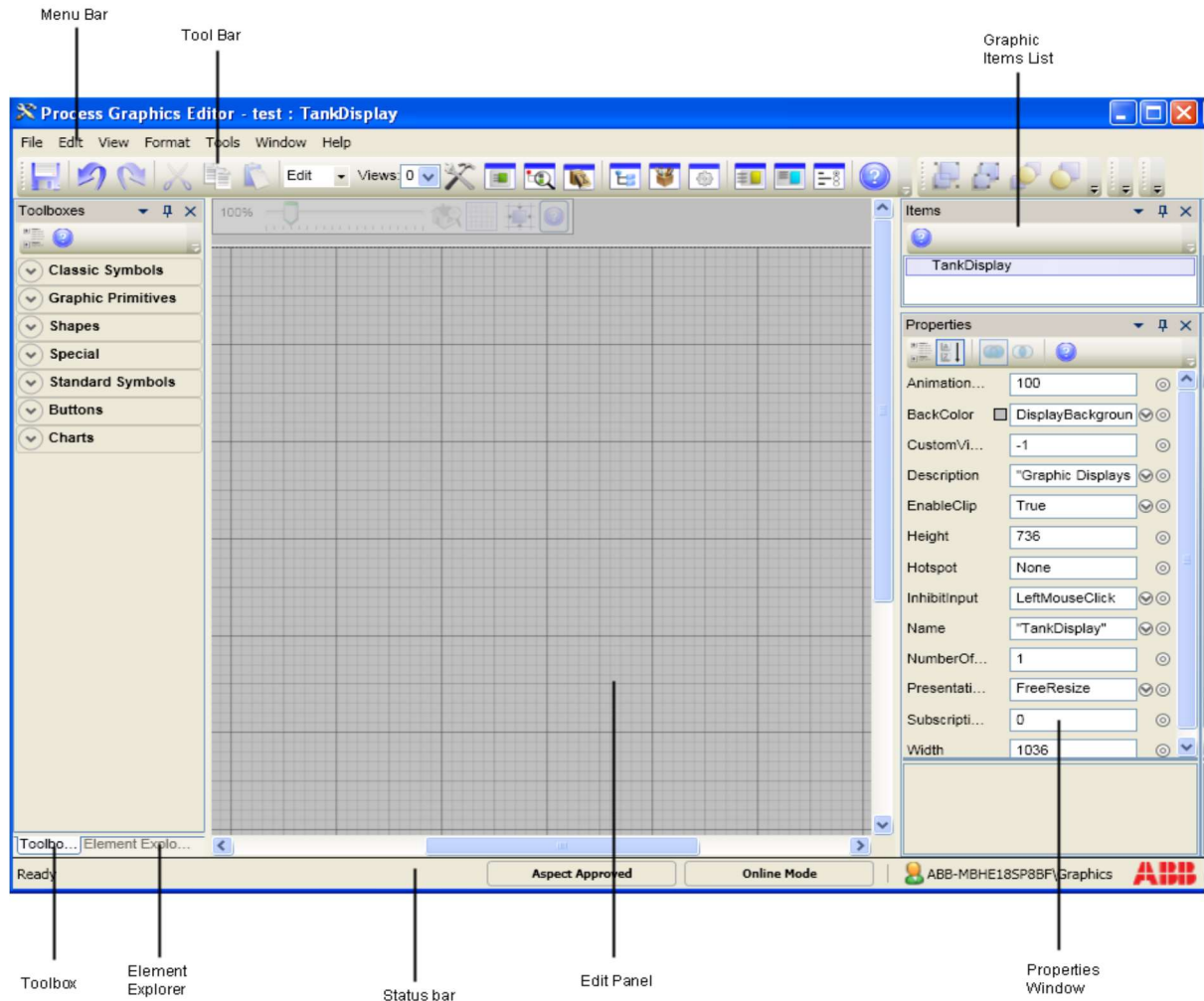


Figura 2.6: Pantalla de edición del Graphics Builder.

Fuente: (System 800xA Training, 2011, p.29)

El panel de edición permite al usuario editar los aspectos gráficos. Lista de elementos gráficos que permite al usuario seleccionar elementos en el panel de edición.

Graphics Builder proporciona la ventana Propiedades y el editor de expresiones para configurar las propiedades de los elementos. También permite al usuario formatear los elementos gráficos utilizando la barra de menú y la barra de herramientas.

Las ventanas de uso frecuente en Graphics Builder son ventanas acopladas. El estado de

estas ventanas persiste cuando el usuario vuelve a abrir el Graphics Builder.

En Graphics Builder, el usuario también puede crear propiedades de entrada, variables de expresión y la biblioteca de soluciones a las que se accede mediante la barra de menús y la barra de herramientas.

Las siguientes son características específicas del Graphics Builder:

- La ventana Propiedades se usa para configurar las propiedades de los elementos gráficos y los elementos de entrada.
- Las variables de expresión se utilizan para definir y editar las variables de expresión.
- El editor de expresiones se usa como una alternativa avanzada para configurar los valores de las propiedades. Contiene un conjunto de selectores de datos más rico que el disponible en la ventana Propiedades. También ayuda al usuario a agregar expresiones que contienen referencias a propiedades de objeto de aspecto, recursos, variables de expresión o propiedades de entrada.
- Ventana de la caja de herramientas para mostrar los bloques de construcción gráficos definidos en el sistema.
- Explorador de elementos para seleccionar e insertar elementos gráficos en el aspecto gráfico editado actualmente.
- Propiedades de entrada para definir y editar propiedades definidas por el usuario.
- Biblioteca de soluciones para definir entidades gráficas como soluciones reutilizables.
- Enumeraciones de usuarios para crear tipos de datos definidos por el usuario.
- Referencias de datos y referencias de recursos para ver o cambiar las referencias de entidades de datos o referencias de recursos en el aspecto gráfico.

2.4.2 Control Builder

Control Builder Professional (CB Professional) es una herramienta de programación para crear soluciones de control al utilizar el hardware AC 800M.

El Control Builder viene con soluciones tipo para control lógico simple, dispositivo control, control de bucle, manejo de alarmas, etc. empaquetados como bibliotecas estándar.

Proporciona una función de asistente para archivos de definición de hardware, soporte para múltiples usuarios ingeniería y un modo de evaluación para probar y evaluar nuevas aplicaciones contra una aplicación en ejecución.

Control Builder soporta cinco lenguajes de programación diferentes, Bloque de funciones, diagrama, texto estructurado, lista de instrucciones, diagrama de escalera y secuencial, cuadro de funciones según IEC 61131-3. Además de esto, soporta el Control idioma del módulo y diagramas (los diagramas solo están disponibles si se crean por diseñador de funciones). Otra funcionalidad útil son los controladores de alta integridad para SIL, Aplicaciones, depurador en línea, modo de prueba y simulación, etc.

2.4.2.1 Descripción.

Control Builder es una función de sistema de control totalmente integrada en el sistema 800xA. Eso proporciona herramientas para programar aplicaciones y configurar unidades de hardware desde la Familia AC 800M.

Se accede a través de la interfaz de Project Explorer y se ejecuta en cualquiera de las siguientes plataformas:

- Versión en inglés estadounidense de Windows Server 2008 Standard o Enterprise Edition:
 - R2 con Service Pack 1
 - R1 de 32 bits (x86) con Service Pack 2

2.5 LÓGICA DIFUSA

2.5.1 Introducción

En los últimos años la lógica difusa ha cobrado fama grande por las distintas aplicaciones en la que se puede utilizar este tipo de control, se ha venido mostrando como una herramienta para modelar sistemas complejos y no lineales, especialmente en áreas como el control, el procesamiento de imágenes y la electrónica de consumo. La lógica difusa ha sido insertada en un gran número de equipos y procesos. Von Altrock, (1995).

2.5.2 Conjuntos difusos

Los conceptos se asocian a conjuntos difusos (asociando los valores de pertenencia) en un proceso llamado fuzzification. Una vez que tenemos los valores fuzzification podemos trabajar con reglas lingüísticas y obtener una salida, que podrá seguir siendo difusa (defuzzification) para obtener un valor discreto crisp. González,(2013).

Ejemplo: Si tenemos tres conjuntos de tipos de temperaturas ambientales con valores que se expresan en los siguientes rangos:

- Baja = (7 – 15°C)
- Media = (15 – 23°C)
- Alta = (23 – 31°C)

La representación gráfica utilizando conjuntos clásicos muestra la Figura 2.7a, indica que:

Si la temperatura ambiental es 23°C se considera como temperatura media, y si aumenta 1°C llegando a 24°C la temperatura es Alta, con esto podemos concluir que no tiene una correspondencia con la realidad. La Figura 2.7b muestra un grado de pertenencia a los conjuntos difusos. Si la temperatura ambiental esta en 21°C, pertenecería en un 50 % al conjunto de temperaturas media y en un 25 % al de temperaturas alta. Esto quiere decir que

tiene un determinado grado de correspondencia para la temperatura media y alta.

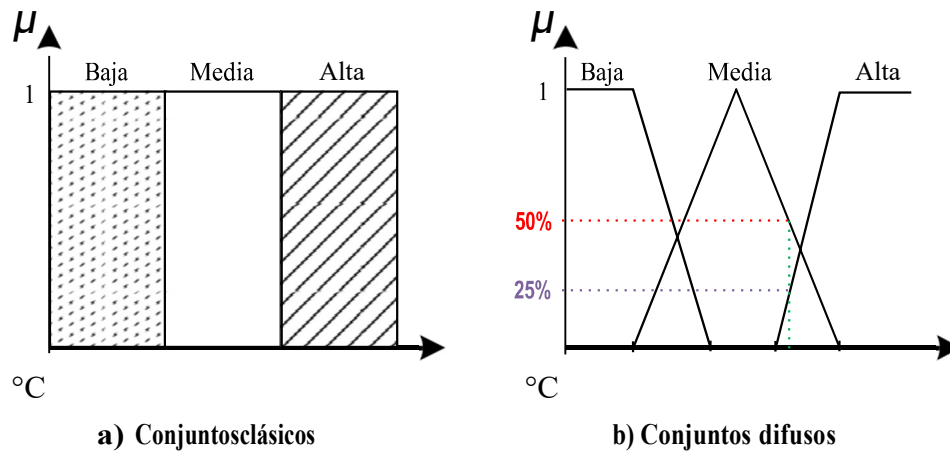


Figura 2.7: Representación de conjuntos clásicos y difusos.

Fuente: (Mata Quevedo, 2016, p.13)

2.5.3 Funciones de membresía

Están diseñadas para representar el grado (porcentaje) de pertinencia de un elemento a un subconjunto definido. Existen varias formas para las funciones de membresía las más usadas son la triangular y la trapezoidal.

2.5.3.1 Fuzzification

Se encarga de la transformación de las variables controladas entregadas por el proceso de molienda de minerales, en variables del tipo lingüístico. Como resultado de la fuzzification se obtienen términos lingüísticos medidos, existen tres tipos de fuzzifications:

- **Fuzzification singleton:** que, por su facilidad simplifica en gran medida el cálculo llevado a cabo en el mecanismo de inferencia para algún tipo de función de membresía que pueda adoptar las reglas si - entonces.

- **Fuzzification gaussiano:** simplifica también el cálculo en el mecanismo de inferencia solo si las funciones de membresía son del tipo gaussiano.
- **Fuzzification triangular:** al igual que el anterior, facilita el cálculo solo si las funciones de membresía son de tipo triangular.

2.5.3.2 Reglas

Contiene las reglas difusas que encierran el conocimiento necesario para la solución del problema de control. Simbólicamente, se expresan como sigue:

si <condiciones o antecedentes> entonces <acciones o consecuentes>

2.5.3.3 Inferencia en sistemas Sugeno

A diferencia de Mamdani, Takagi, Sugeno y Kang [Takagi and Sugeno, 1985] proponen un modelo que se basa en reglas donde el antecedente está compuesto de variables lingüísticas y el consecuente se representa como una función lineal de las variables de entrada.

2.5.3.4 Defuzzification

El resultado de la inferencia difusa es convertido de conclusiones lingüísticas a una salida física que pasa a ser la acción de control. Esta etapa es necesaria en los sistemas Mamdani, porque el conjunto difuso de salida para estos sistemas no es directamente utilizable para dar una información precisa al operador o mandar un accionador, es necesario pasar del mundo difuso al mundo real.

La selección del método de defuzzification puede jugar un papel decisivo en la síntesis de modelos difusos para muchas áreas de aplicación. Particularmente dentro del área de control, su influencia puede ser determinante en el comportamiento y la robustez del controlador.

Los principales métodos de defuzzification son: Centro de Máximos (CoM), Suma de los Centros de Áreas (SCOA) y Centro de Áreas (CoA). Se tomó a [Alvares, 1995] como base para la descripción de lo siguiente:

- **Centro de Máximos (COM)**

Los k términos lingüísticos de la variable difusa de salida de la inferencia, y sus valores máximos de pertenencia, se les conoce también como los “valores típicos” de la variable. La contribución de cada regla al valor de salida real.

- **Suma de los Centros de Áreas (SCOA)**

La idea de este método es considerar individualmente el centro de gravedad (área cuando es una sola salida) de los conjuntos difusos obtenidos en la aplicación de la inferencia y, posteriormente, efectuar la media ponderada del conjunto total, el que resulta de la agregación de dichos conjuntos difusos.

- **Centro de Área (COA)**

Trabaja de igual forma que el método anterior con la diferencia que corrige el efecto de superposición de las áreas entre conclusiones. Esto se hace tomando en cuenta las áreas solo una vez y no dos como lo hacía el SCOA; para ello se considera únicamente el perfil de la función de pertenencia que resulte mayor en cada punto.

2.6 Tareas en el diseño de sistemas basados en lógica difusa.

A continuación, se presenta un resumen de las tareas comunes para el diseño de sistemas difusos:

2.6.1 Identificar las variables del dominio:

- Variables de estado: Describen las entradas del sistema.
- Variables de control: Describen las salidas del sistema.

2.6.2 Identificar los términos lingüísticos vinculados a cada variable y su respectiva definición.

- Definir las particiones difusas de cada variable (etiquetas lingüísticas).
- Definir las funciones grado de verdad asociadas a cada etiqueta lingüística.
- Es recomendable que exista solapamiento entre las funciones de pertenencia.

2.6.3 Construir las reglas difusas que correspondan.

- Habitualmente se hace uso de las FAM (Fuzzy Association Matrix).
- Se crea una FAM para cada variable "de control", vinculando las posibles combinaciones de las variables "de estado" (antecedente) con una de sus etiquetas lingüísticas (consecuente).

2.6.4 Construir las reglas difusas que correspondan (crear la representación simbólica):

- Habitualmente se hace uso de las FAM (Fuzzy Association Matrix).
- Se crea una FAM para cada variable e control, vinculando las posibles combinaciones de las variables "de estado" (antecedente) con una de sus etiquetas lingüísticas (consecuente).

Reglas IF-THEN pueden usar variables difusas lingüísticas.

Si se quiere utilizar la regla IF x is A THEN y is B ($A \rightarrow B$) entonces se puede definir la regla

como una relación binaria difusa R en el espacio $X \times Y$.

R puede ser visto como un set difuso con una función de pertenencia:

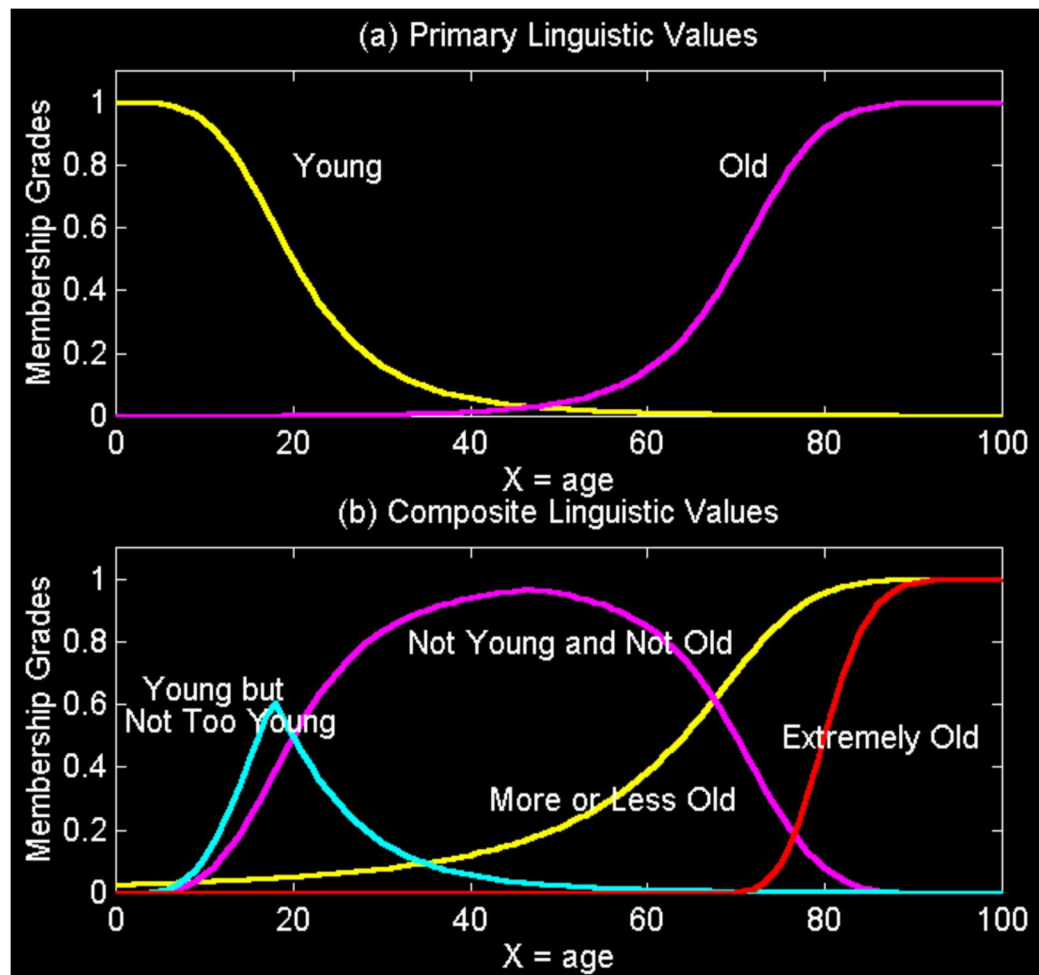


Figura 2.8: Ejemplos de Reglas IF-THEN

Fuente: (Arredondo. T, 2014, p.71)

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

3.1 Levantamiento de información de la situación actual del Proceso de Molienda.

Se realizó el levantamiento de información como parte de la implementación del sistema experto con la finalidad de obtener los datos de campo y poder contrastar los requerimientos del sistema en base a lo que se tiene en la planta minera.

Se menciona a continuación los tres puntos más importantes:

- Línea de Ingreso de Agua Fresca al molino y cajones.
- Verificación de estado de funcionamiento de los instrumentos de control del molino.
- Verificación de datos almacenados en la estación de operaciones con un tiempo no menor a 6 meses.

Se detalla sobre los tres puntos mencionados líneas arriba, la situación actual y la propuesta de mejora, explicándose además la razón por la cual estos puntos deben ser observados por Minera Condestable, con la finalidad de poder cumplir a cabalidad la propuesta de optimización del proceso de molienda siendo esta la finalidad del proyecto y poder así brindar un servicio de calidad con garantía.

3.1.1 Situación actual.

Se detallan los instrumentos que se encuentran en mal estado y que se precisa se encuentren operativos en el campo e integrados al sistema, en mención y que la importancia de su buen

estado para la realización del proyecto se considera crítico.

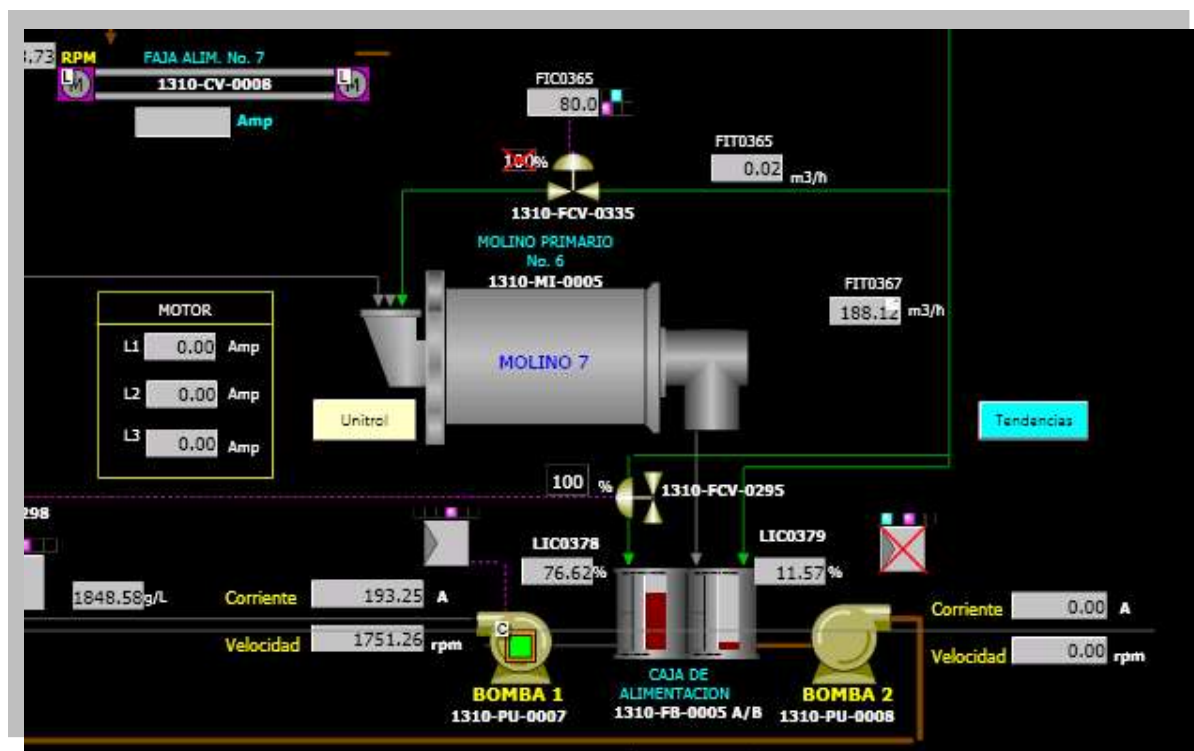


Figura 3.1. Estado de los instrumentos de control del molino marcado con X.

Fuente: Elaboración propia.

Según el levantamiento de información realizada en campo se tienen dos líneas de Ingreso de agua, una que corresponde al agua recuperada y la otra de agua fresca, actualmente solo se tiene instrumentación de control sobre la línea de agua recuperada en base a ello se presenta el estado de la instrumentación en esta línea.

Línea Ingreso al Molino:

- FIT0365.- Flujómetro se encuentra en buen estado. No hay Observaciones.
- FIC0365.- Válvula de control, no se encuentra operativa.

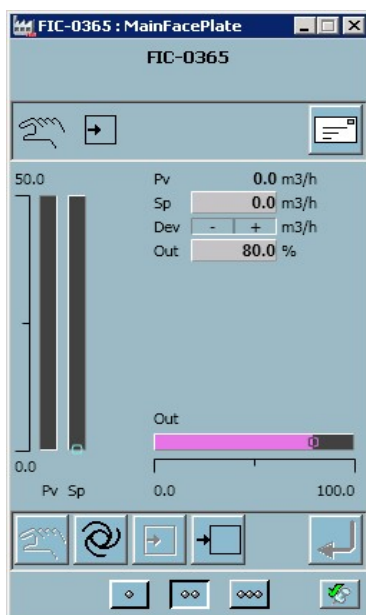


Figura 3.2: Faceplate de la ventana de seteo de la válvula de control.

Fuente: Elaboración propia.

Línea de ingreso agua Cajón:

- FIT0367.- Flujómetro se encuentra en buen estado. No hay Observaciones.
- 1310-FCV-0295.- Válvula de control se encuentra en buen estado. No hay Observaciones.

Otras líneas de control involucradas en la mejora del molino. Son el control de Nivel LIC-0378, control de densidad DIT-0298 y control de peso funcionan correctamente.

Nota: Se debe verificar la correcta medición del densímetro y balanza, realizando un protocolo de contraste para su aceptación.

3.1.2 Control de Nivel en los cajones de Alimentación, sistema con bombas en alternancia.

Tabla N° 3.1. Lista de instrumentos y estado de funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

ÍTEM	EQUIPO	TAG	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	ESTADO
1	DENSÍMETRO	1310-DIT-0298	DENSIDAD DE FINOS HACIA ZARANDA N°4	SISTEMA 4 - MOLINO 7	Calibrado
2	FLUJOMETRO	1310-FIT-0367	FLUJO AGUA TROMMEL/CAJÓN DESCARGA MOLINO 7	SISTEMA 4 - MOLINO 7	Pendiente de contraste
3	FLUJOMETRO	1310-FIT-0365	FLUJO AGUA RECUPERADA HACIA MOLINO N°7	SISTEMA 4 - MOLINO 7	Pendiente de contraste
4	FLUJOMETRO	1310-FIT-0298	FLUJO PULPA HACIA ZAF	SISTEMA 4 - MOLINO 7	Pendiente de contraste
5	VÁLVULA PROPORCIONAL	1310-FCV- 0365	CONTROL AGUA RECUPERADA HACIA MOLINO N°7	SISTEMA 4 - MOLINO 7	En reparación
6	VÁLVULA PROPORCIONAL	1310-FCV- 0298	CONTROL AGUA TROMMEL/CAJÓN DESCARGA MOLINO 7	SISTEMA 4 - MOLINO 7	En reparación
7	SENSOR DE NIVEL	1310-LIT-0378	NIVEL DE CAJÓN DE DESCARGA A MOLINO N°7	SISTEMA 4 - MOLINO 7	Calibrado

Después del levantamiento de Información en Minera Condestable se obtiene que, para el sistema de alimentación de mineral hacia la Zona de clasificación, se trabaja en base a una alternancia de bombas correspondientes a los dos cajones de alimentación que se tiene.

Notándose que no se tiene integrada al sistema la bomba 2 correspondiente al siguiente Tag 1310-PU-0008, esto implica que cuando se active la bomba 2, el sistema experto no va a tener control sobre esta, causando una operación inadecuada del lazo de control.

Para verificar el estado de cada instrumento se realizó un trabajo de verificación de estado que se muestra en la **tabla 3.1**

3.2 Extracción y análisis de datos del sistema de control actual.

3.2.1 Creación de un Histórico de datos.

Se realizaron los siguientes procedimientos para la extracción de datos desde el DCS System800XA, para ello se debe de saber la ubicación de los instrumentos en la jerarquía del programa, específicamente se detallará la obtención de data de los tags involucrados en la operación del sistema experto.

3.2.2 Ubicación y descripción de los Tags.

La manera más sencilla de saber dónde se ubican los tags, es decir las direcciones de los instrumentos en el sistema, es desde la pantalla del operador para ello ingresamos a la pantalla del Molino 7 presionando el Botón Sistema 4 indicado con una flecha roja en la **Figura 3.3**.

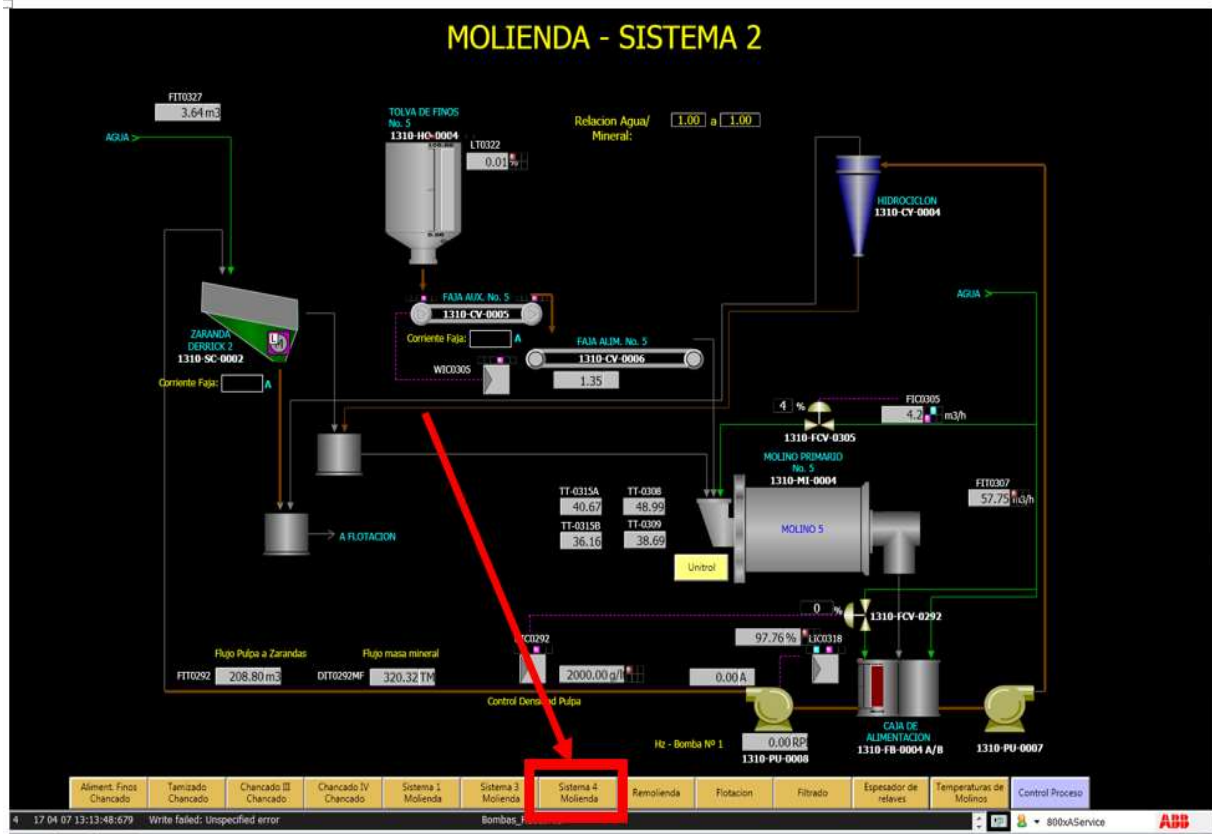


Figura 3.3. Pantalla de ingreso a la ventana de control del molino 7.

Fuente: Elaboración propia.

- Luego nos muestra la siguiente ventana donde se observa todos los tags de los instrumentos de control del molino 7.

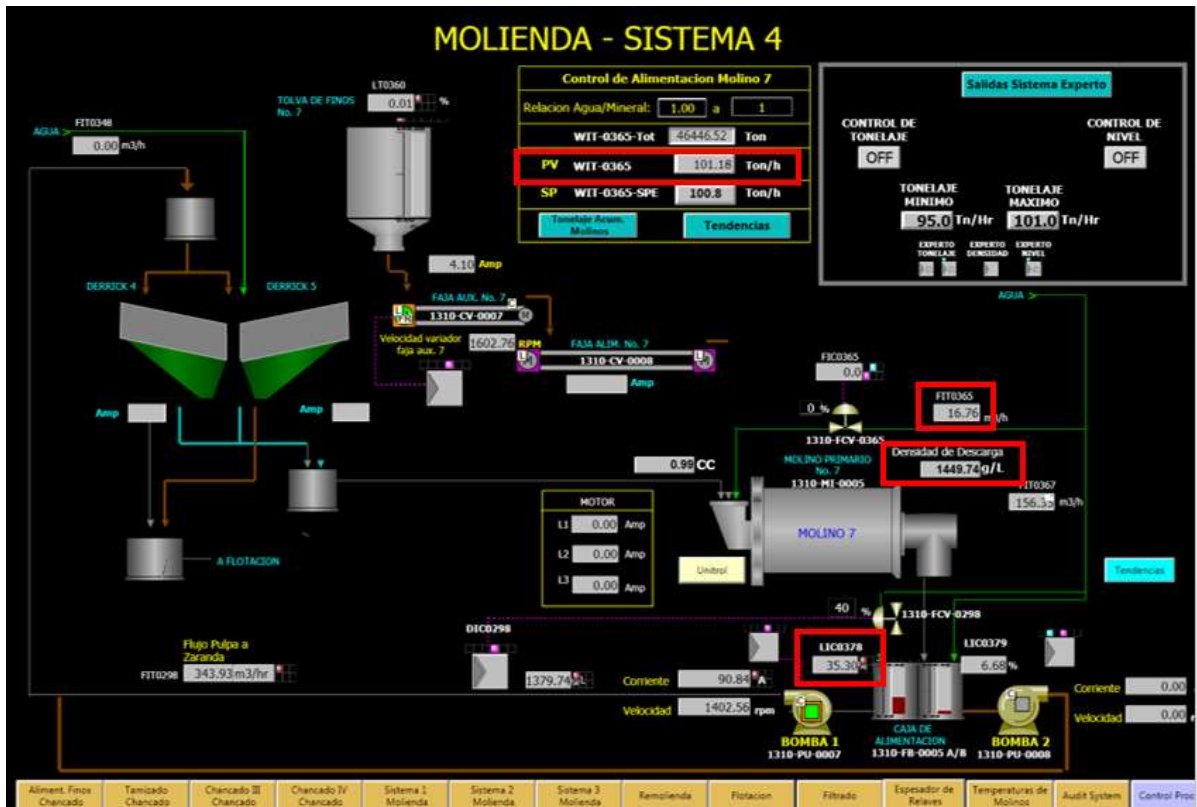


Figura 3.4. Instrumentos y variables de control mostrados en la sala de operaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Tomaremos los tags de los instrumentos de control del molino 7.

- Para extraer la data abrimos Microsoft Excel, creamos una hoja en blanco y nos dirigimos a la pestaña Add-Ins.

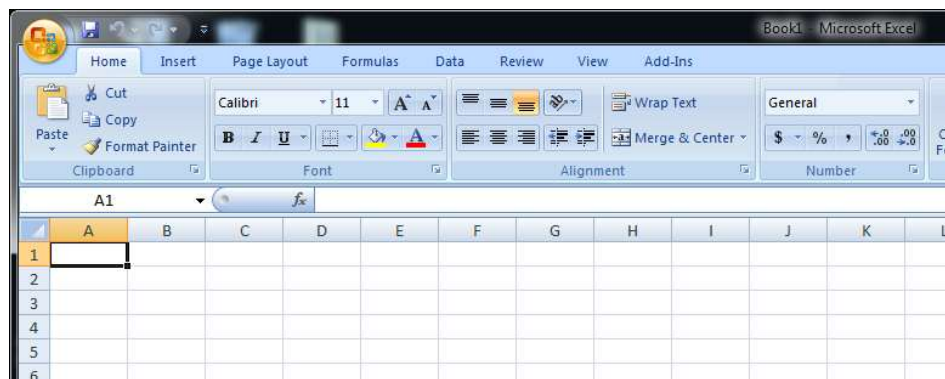


Figura 3.5. Excel para la extracción de datos.

Fuente: Elaboración propia.

- Dentro de la pestaña ubicamos el siguiente símbolo.

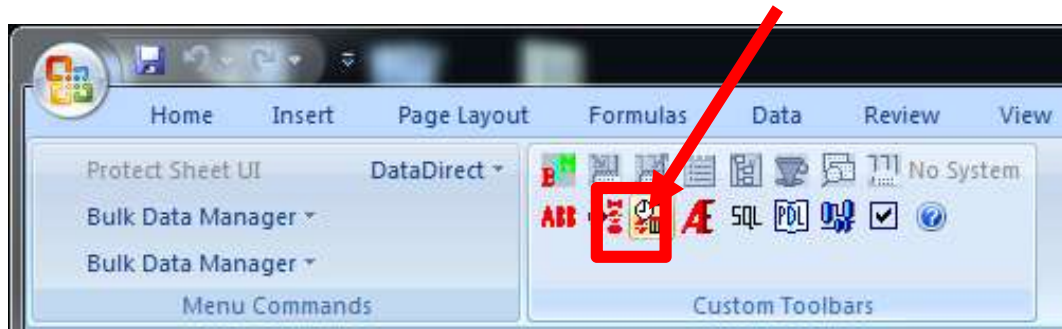


Figura 3.6. Selección del icono para interacción del excel con el System 800.

Fuente: Elaboración propia.

- Nos aparecerá la siguiente ventana.

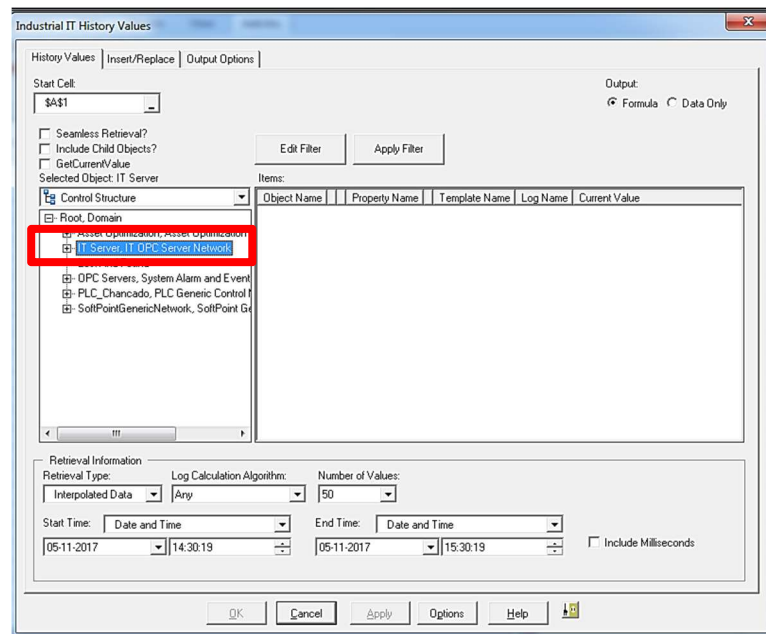


Figura 3.7. Asignación para extracción de históricos.

Fuente: Elaboración propia.

- Dentro del cuadro de dialogo enmarcado. Seleccionar Control Structure
- Luego en el despliegue de Root, Domain, escoger IT Server, IT OPC Server Network.
- Dentro del despliegue, aparecerá Control Network, que a su vez desplegará dentro de sus opciones Project1, Control Project.
- Dentro de Project1, encontraremos Applications y Controllers.
- Dentro de Applications, encontraremos varias opciones escogemos Flotacion_Filtrado, Control Application.
- Escogemos Programs, Program Group

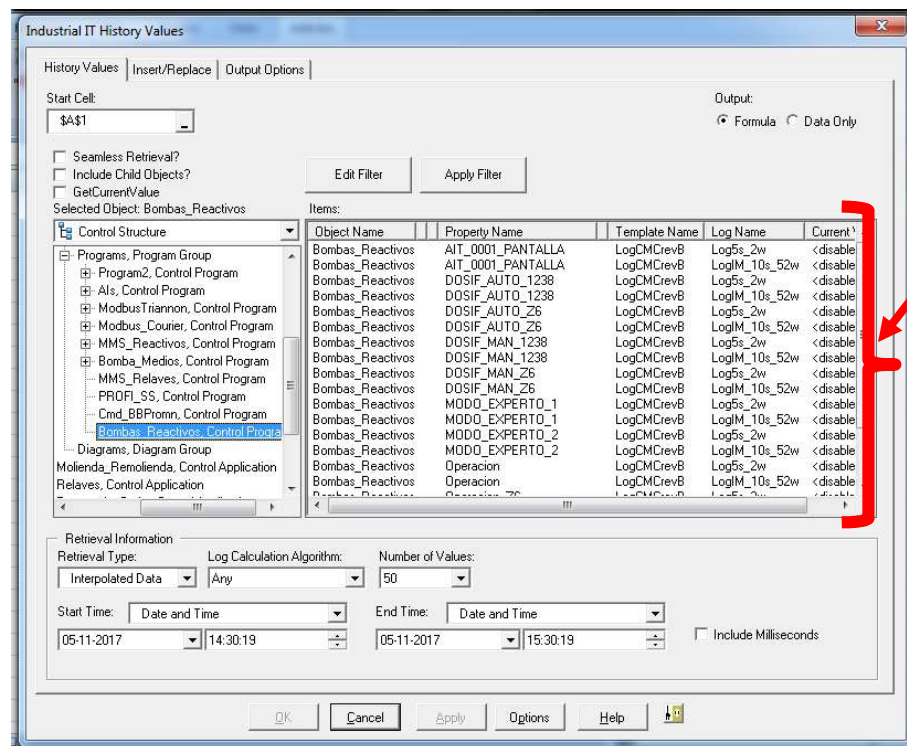


Figura 3.8. Selección de las variables a extraer

Fuente: Elaboración propia.

- Si damos click en Molino 7, Control Program; Aparecerán varios Tags en el cuadro indicado por la flecha en rojo.
- Escogemos el Tag del que queremos extraer la data, para el ejemplo utilizaremos el tag correspondiente del tonelaje de ingreso al molino.

Ahora configuramos el periodo del histórico de datos que se extraerá de la base de datos.

Figura 3.9. Configuración del periodo de tiempo de variables a extraer.

Fuente: Elaboración propia.

- Dentro de Log Calculation Algorithm: Escogemos Time Average
- Dentro de Number of Values: Podemos escoger la cantidad de valores que queremos obtener, el rango es desde 1 – 3200
- En Start Time: seleccionamos la fecha de Inicio del periodo de tiempo y la hora.
- En End Time: seleccionamos la fecha de Final del periodo de tiempo y la hora.
- Dejamos en vacío el cuadro de Include Milliseconds.

Para colocar la estampa de tiempo nos dirigimos a la siguiente pestaña

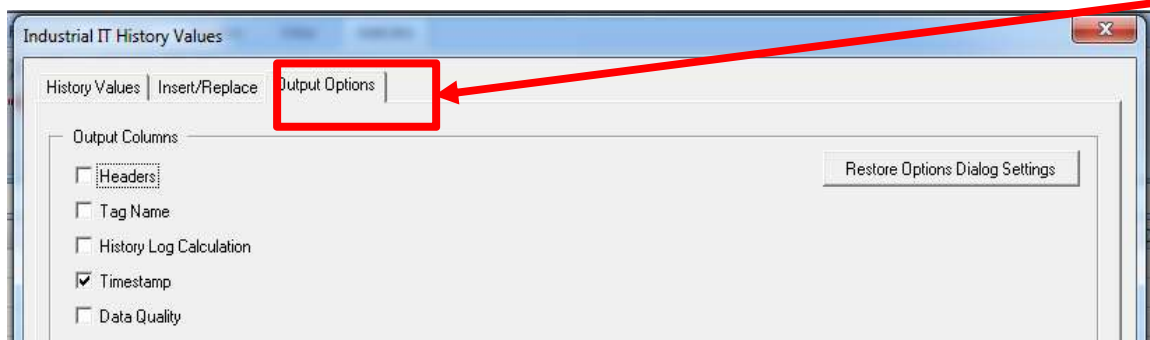


Figura 3.10. Selección de las opciones de salida de los datos.

Fuente: Elaboración propia.

- Damos Check en Timestamps.

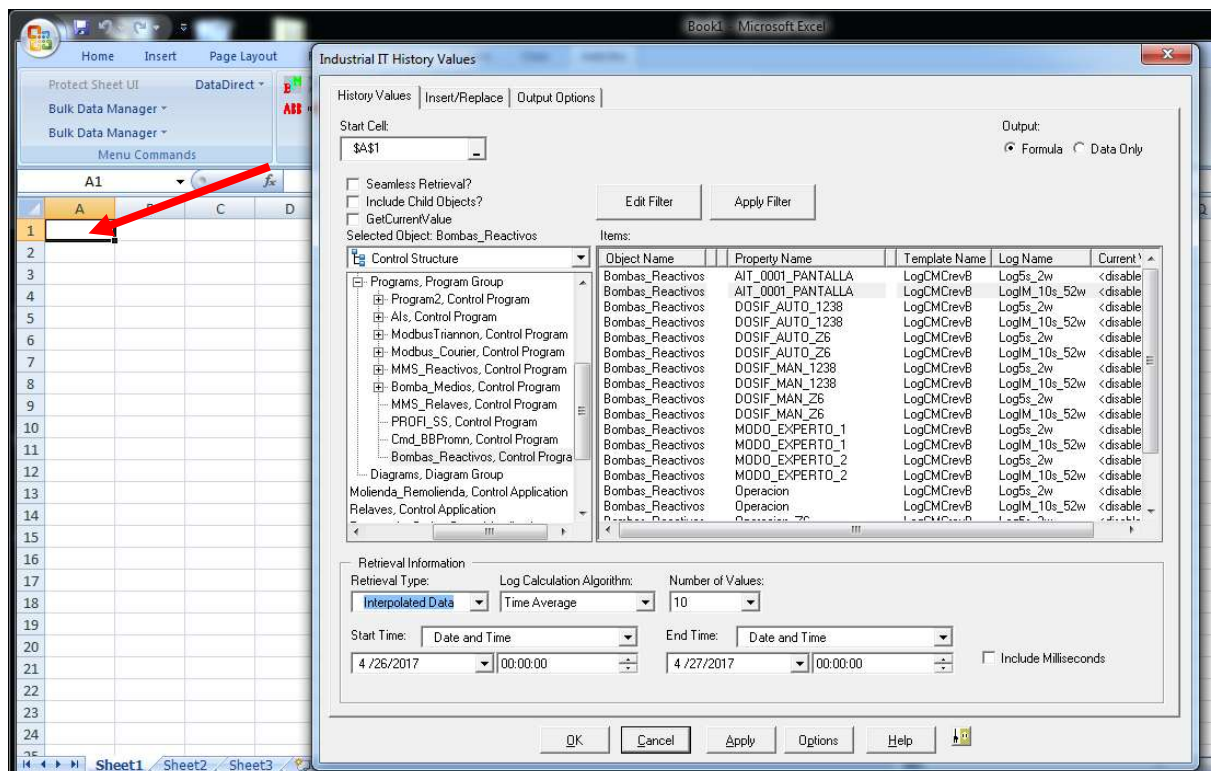


Figura 3.11. Selección de inicio de tablas para asignar los datos a extraer al excel

Fuente: Elaboración propia.

- Antes de dar click en OK debemos tener en cuenta que en el cuadro de dialogo Start Cell, se indica la celda en donde comenzará a mostrarse la data a extraer.

3.2.3 Análisis de variables de control.

Luego de la extracción de la información, se realizó el análisis de los datos viendo el comportamiento de los dispositivos de control, para realizar el modelo de control apropiado para este proceso según se muestra en las siguientes figuras.

Los datos extraídos son de 5 meses de información recopilada en la base de datos esto se observa en la **Figura 3.12**.

Nota: para el análisis de los datos se usó el programa Tableau.

	Tiempo 2017				
	Q1			Q2	
	Janua..	Febru..	March	April	May
Avg. Agua Cajon	159	190	194	200	190
Avg. Agua Mol.	2	0	7	3	11
Avg. %Nivel	35	38	39	42	47
Avg. Densidad	1,541	1,696	1,680	1,714	1,631
Avg. TPH	100	96	98	96	101

Figura 3.12. Cuadro de promedios de variables de control del molino.

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar el comportamiento del proceso se graficó las tendencias de las variables de control más importantes del proceso indicando un comportamiento atípico en algunas fechas tal y como se muestra en las **Figura 3.13 y Figura 3.14**.

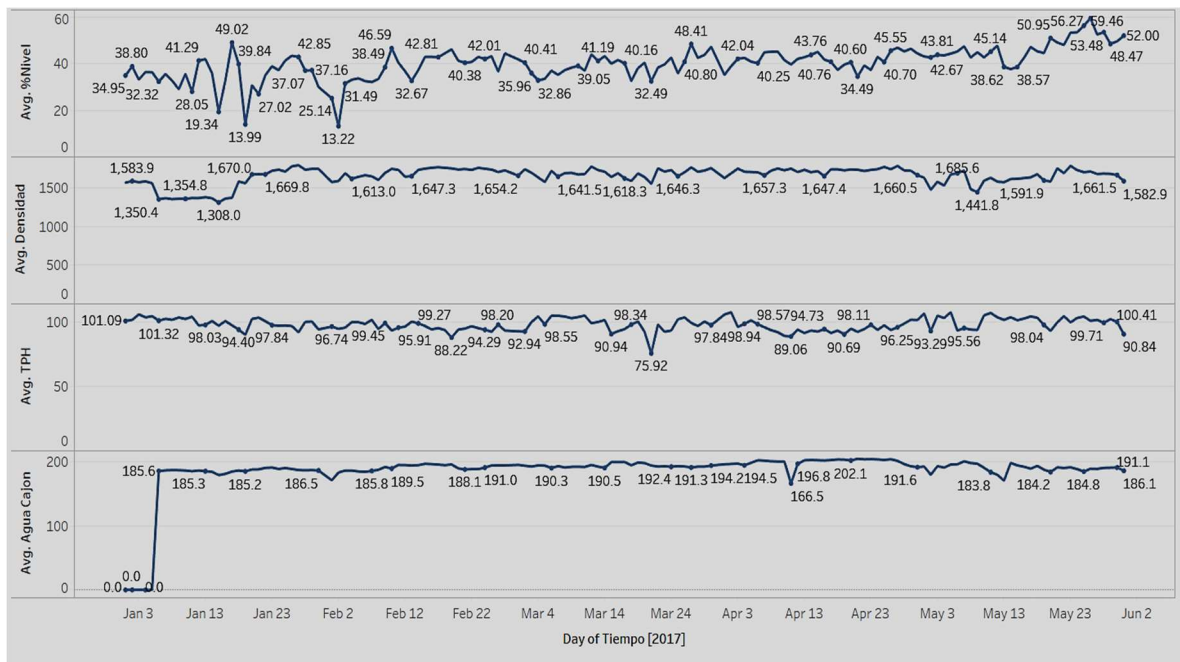


Figura 3.13. Análisis y verificación de los datos de comportamiento en el tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

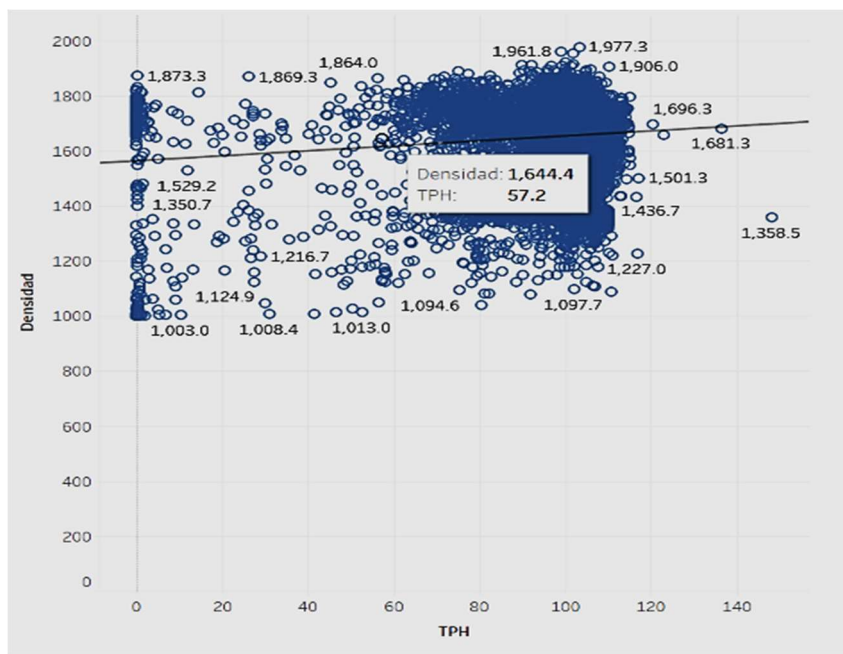


Figura 3.14. Cuadro de dispersión de comparación del Tonelaje vs la densidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Diseño y desarrollo del sistema de control mediante la aplicación de lógica

difusa.

El desarrollo de la estrategia de control del circuito de molienda de minerales está basado en la verificación y manipulación de las variables de control de operación del molino, las variables y rangos de programación usadas son los detallados en las siguientes **Tablas N° 3.2, 3.3. Y 3.4.**

Tabla 3.2. Rango del nivel de cajón de descarga del molino indicados por el metalurgista.

NIVEL DE CAJÓN	RANGOS
BAJO	[0 - 45]%
NORMAL	[40 - 65]%
ALTO	[60 - 100]%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3. Rango de funcionamiento del flujo de descarga indicado por el metalurgista.

FLUJO A CAJÓN MOLINO	RANGOS
BAJO	[0 - 169]Tn/Hr
NORMAL	[166 - 202]Tn/Hr
ALTO	[197 - 244]Tn/Hr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4. Rango de funcionamiento de la densidad de descarga indicado por el

metalurgista.

DENSIDAD DE DESCARGA	RANGOS
BAJO	[1000 - 1600]g/l _t
NORMAL	[1550 - 1740]T _n /H _r
ALTO	[1710 - 2000]%

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas muestran un resumen de todas las variables de control y los rangos de funcionamiento indicados por los especialistas, estos rangos pueden cambiar en la etapa de sintonía del sistema experto.

3.3.1 Desarrollo y diseño de las pantallas de operaciones.

Para el desarrollo y diseño de las pantallas de operación en el DCS se usó el Graphics Builder, donde se diseñó múltiples ventanas para todos los comandos de funcionamiento y monitoreo del sistema experto, todos los procedimientos de diseño de pantallas se muestran a continuación.

- Para el diseño se ingresa a la plataforma del Graphics Builder donde diseñaron los siguientes iconos y la pantalla principal del control del sistema experto.

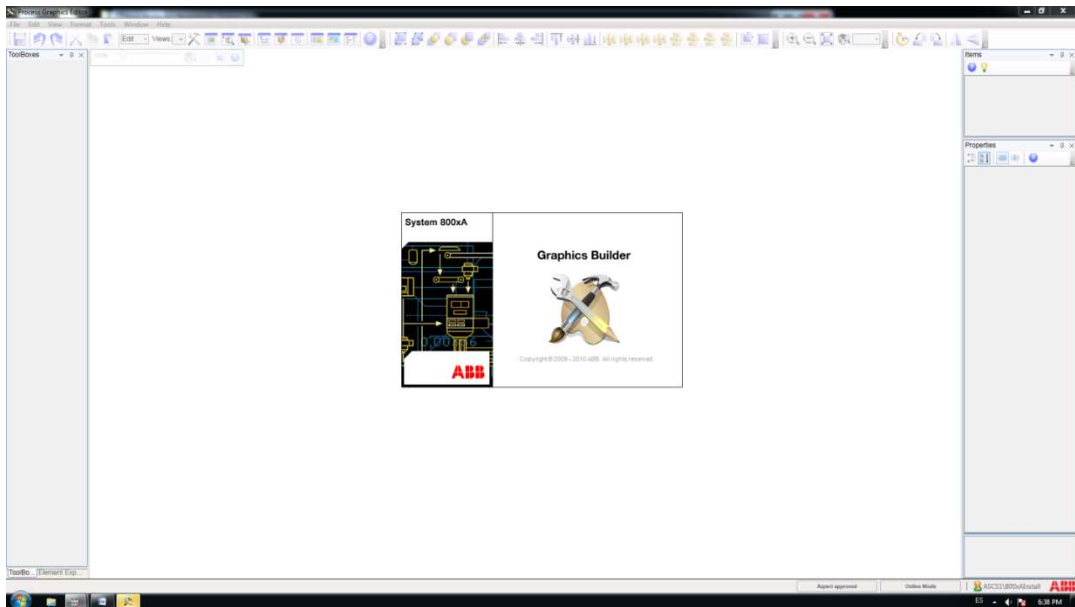


Figura 3.15. Pantalla de ingreso a la plataforma de Graphics Builder.

Fuente: Elaboración propia.

Al ingresar a esta plataforma se observa el diseño existente de los controles de todo el sistema de control de molienda y otros subsistemas, dentro de esta pantalla se realizará el diseño y programación de la nueva ventana para el control de molienda.

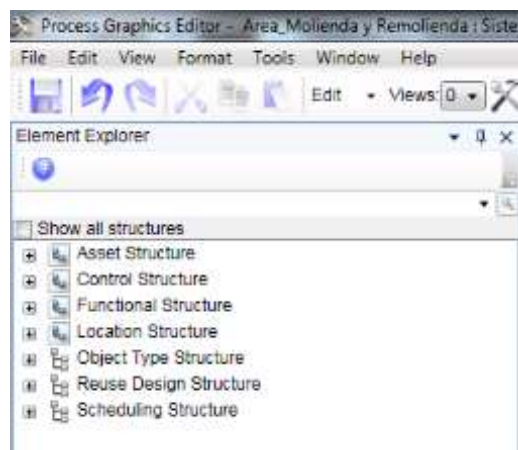


Figura 3.16. Ingreso a las librerías del Process Graphics.

Fuente: Elaboración propia.

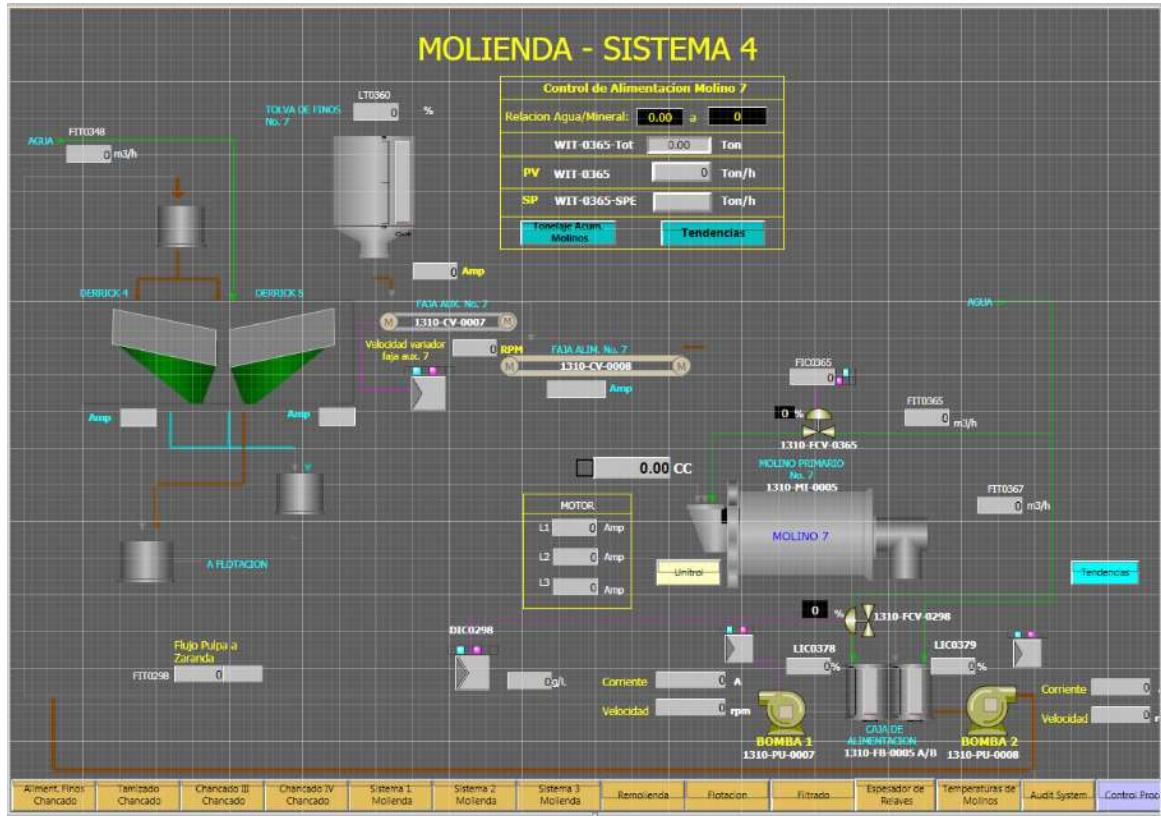


Figura 3.17. Pantalla principal de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

Detalle del diseño de los iconos de control y el funcionamiento de cada uno de ellos.

- **Botón Control Tonelaje:** Al activar este botón el sistema experto tomara el control del VFD de la faja de alimentación y de la válvula de agua de ingreso al molino.



Figura 3.18. Icono de encendido y apagado control experto tonelaje.

Fuente: Elaboración propia.

- **Botón Control Nivel:** Al activar este botón el sistema experto tomara el control del VFD de la bomba de descarga del cajón del molino y de la válvula de agua de cajón del molino.



Figura 3.19. Icono de encendido y apagado control experto Nivel.

Fuente: Elaboración propia.

- **Ingreso de rango de tonelaje:** Desde la pantalla del operador, el rango de control de tonelaje se debe de ingresar en este modo, desde el teclado de la consola de operación en la siguiente viñeta. Para una óptima operación la diferencia entre el valor mínimo y máximo debe ser de 15 Ton/Hr.



Figura 3.20. Icono-s de ingreso de límites de rangos de tonelaje.

Fuente: Elaboración propia.

- En modo experto, presionar el botón debajo del texto tonelaje mínimo y digitar el valor de tonelaje mínimo que requiere la operación, luego presionar Enter (Intro).

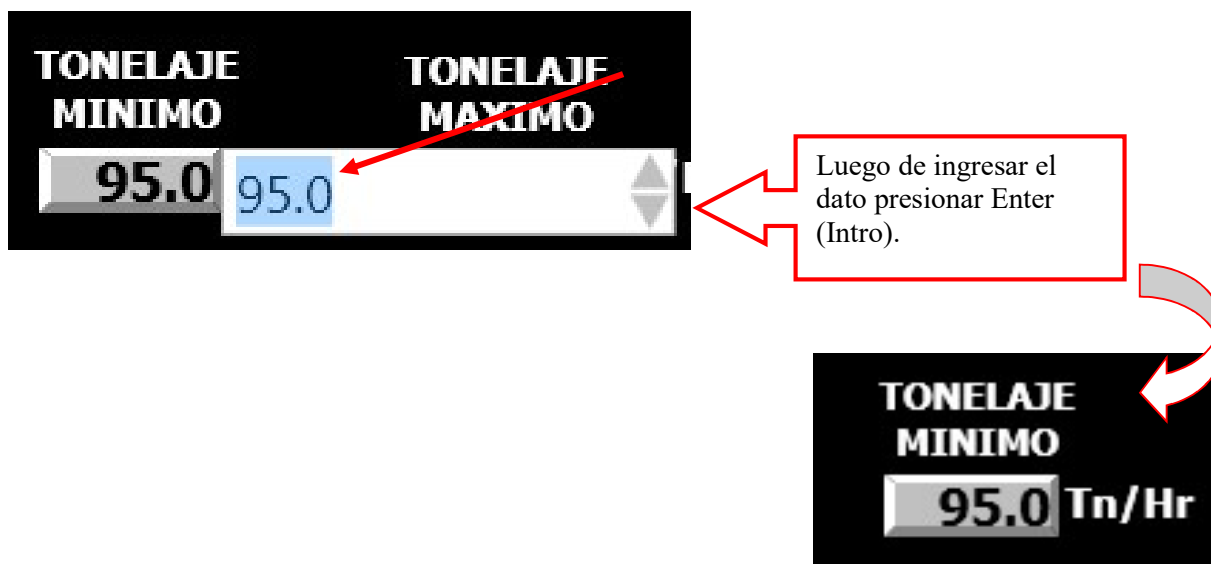


Figura 3.21. Ventana de ingreso de tonelaje mínimo.

Fuente: Elaboración propia.

- En modo experto, presionar el botón debajo del texto tonelaje máximo y digitar el valor de tonelaje máximo que requiere la operación, luego presionar Enter (Intro).

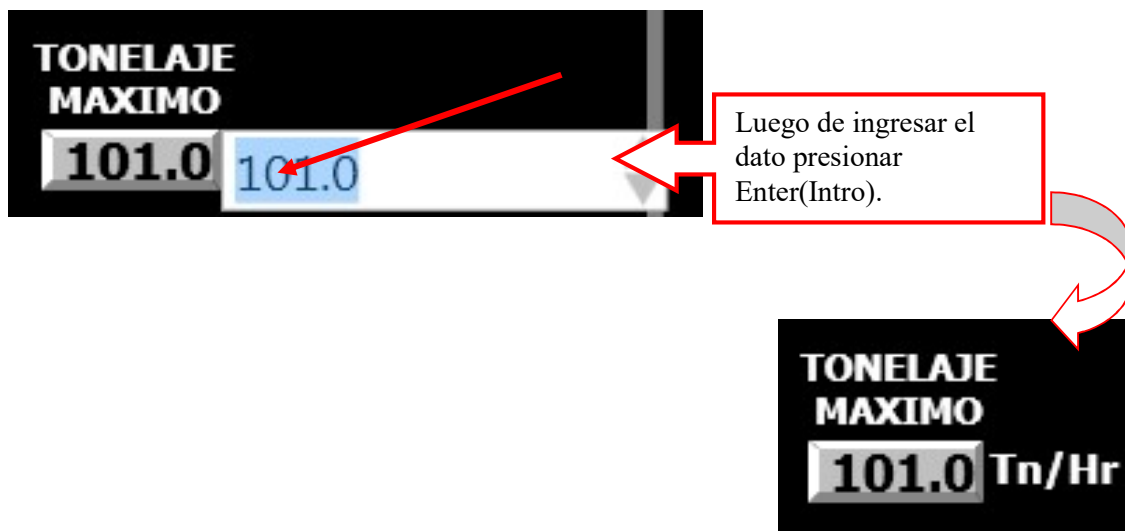


Figura 3.22. Ventana de ingreso de tonelaje máximo.

Fuente: Elaboración propia.

- Funcionalidades de la nueva ventana de operaciones del sistema de control experto.



Figura 3.23. Funcionalidades de iconos del sistema experto.

Fuente: Elaboración propia.

1. **Botón ON/OFF de control de tonelaje:** Sirve para activar o desactivar el sistema experto de control de tonelaje.
2. **Botón ON/OFF de control de nivel:** Sirve para activar o desactivar el sistema experto de control de nivel y densidad.
3. **Botón Tonelaje Mínimo:** Sirve para colocar el valor de tonelaje mínimo con el que va a trabajar el sistema experto.
4. **Botón Tonelaje Máximo:** Sirve para colocar el valor de tonelaje máximo con el que va a trabajar el sistema experto.
5. **Botón Sistema Experto Control VFD Faja Alimentación:** Sirve para acceder a los parámetros básicos del bloque fuzzy que controla el variador de la faja de alimentación.



Figura 3.24. Parámetros de acceso bloque fuzzy VFD faja de alimentación.

Fuente: Elaboración propia.

6. **Botón Sistema Experto Control Válvula Agua Ingreso a Molino:** Sirve para acceder a los parámetros básicos del bloque fuzzy que controla la apertura de

la válvula de agua de ingreso a molino. Por cuestiones de operación esta válvula trabajara en modo manual.



Figura 3.25. Parámetros de acceso bloque fuzzy control de válvula de agua.

Fuente: Elaboración propia.

7. **Botón Sistema Experto Control Densidad:** Sirve para acceder a los parámetros básicos del bloque fuzzy que controla la densidad a la salida del molino 7 mediante la válvula de agua de ingreso a cajón.



Figura 3.26. Parámetros de acceso bloque fuzzy VFD válvula de ingreso de agua.

Fuente: Elaboración propia.

8. **Botón Sistema Experto Control Nivel:** Sirve para acceder a los parámetros básicos del bloque fuzzy que controla el nivel del cajón mediante la variación de la velocidad de referencia del variador de la bomba de descarga del cajón.



Figura 3.27. Parámetros de acceso bloque fuzzy VFD bomba de descarga

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.1 Desarrollo de ventanas de ingreso a tendencias.

Se diseñó y configuro para acceder a la ventana de tendencias, donde el operador visualizara el comportamiento en el tiempo de todas las variables de proceso verificando comportamientos atípicos mediante los siguientes pasos.

- Al presionar el siguiente botón:

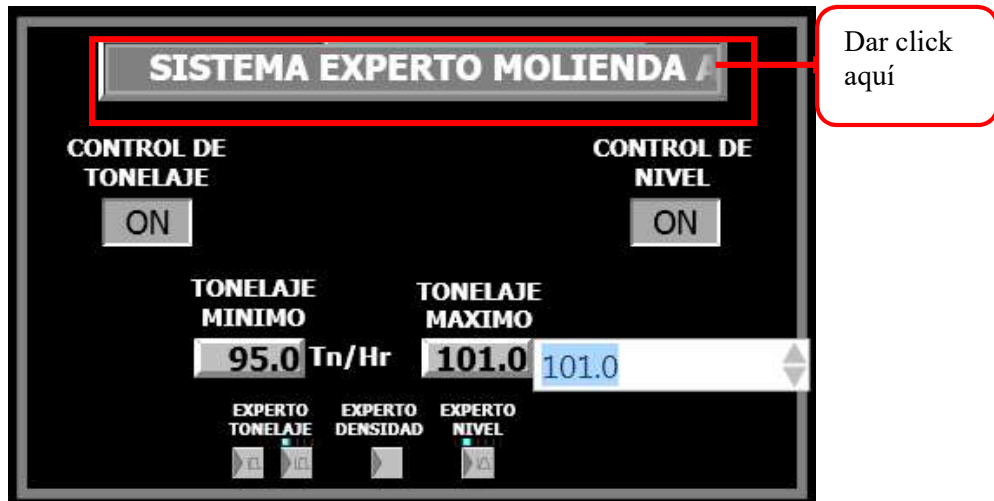


Figura 3.28. Ventana de ingreso a tendencias del sistema experto.

Fuente: Elaboración propia.

- Al presionar el icono indicado en la **Figura 3.28**: aparecerá la siguiente ventana en la que se pueden observar las tendencias de los parámetros que determinan la operación del sistema experto, cada parámetro está descrito por características que se muestra en cada columna.

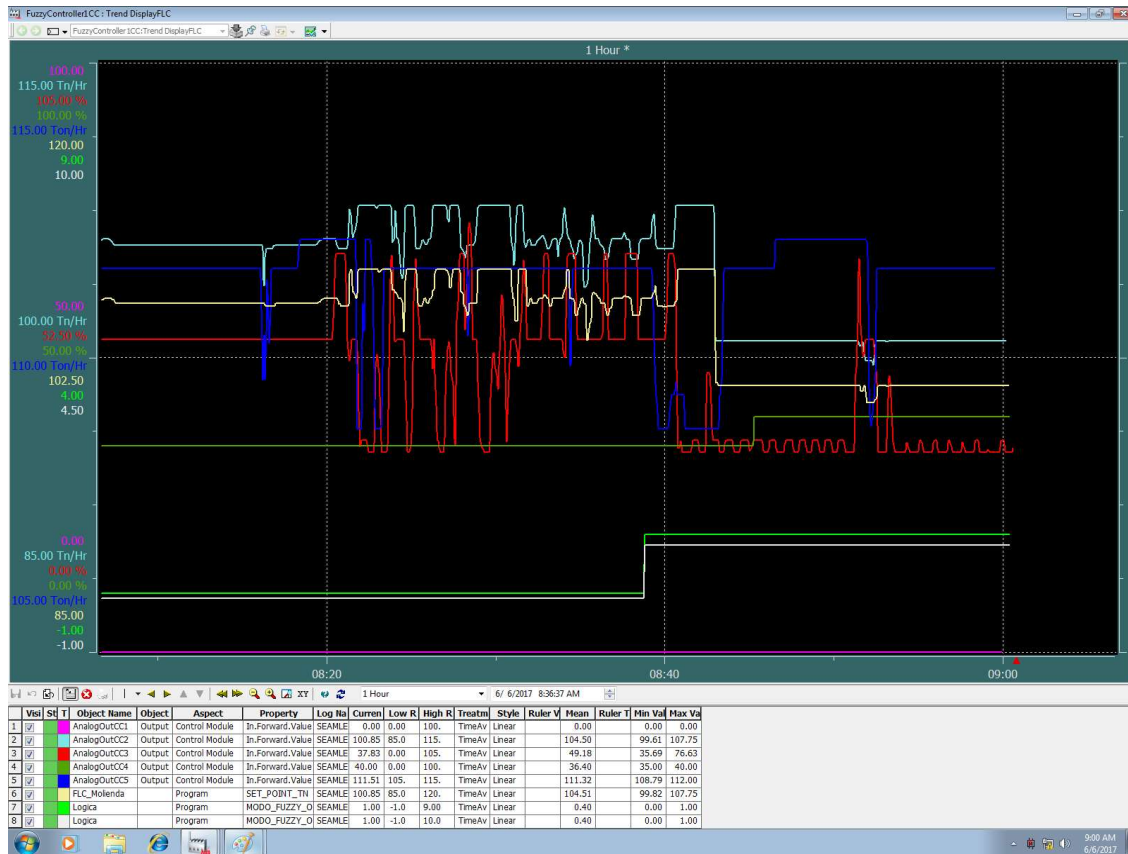


Figura 3.29. Tendencias de las variables de control.

Fuente: Elaboración propia.

- Aquí se selecciona el periodo que desea que se muestre, se tienen las siguientes opciones.
- Si escoge 1 Hour, esto indicará que se va a tener una ventana de 1 hora de tiempo, si se escoge 1 Day, se tendrá una ventana de 1 día.

- ✓ **Ruler Value, Ruler Time:** cuando se muestra la regla, estas casillas te muestran el valor y el tiempo donde se encuentra la regla

3.3.2 Desarrollo del bloque de control difuso.

Para el desarrollo del sistema experto se inició realizando la asignación de términos lingüísticos y funciones de membresía de cada variable de control, luego se realizó la Matriz (FAM) dentro de la matriz y se depuraron las reglas absurdas, esto se realizó en conjunto con los expertos del proceso de molienda definiendo rangos de funcionamiento, reglas de funcionamiento de las 3 variables de entrada para definir los rangos de salida del sistema tal y como se muestra en las siguientes tablas.

3.3.2.1 Desarrollo de la matriz FAM, Términos Lingüísticos.

1. Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Densidad.
2. Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Mineral Fresco.
3. Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Ingreso de agua al molino.
4. Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Ingreso de agua al Cajón de Bombas.
5. Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Nivel del Cajón de Bombas.
6. Matriz FAM del proceso

1) Asignación de términos lingüísticos y rangos variable Densidad.

Tabla 3.5. Términos lingüísticos y asignación de rangos, Densidad

VARIABLE	RANGO	Termino Lingüístico	Valor (a,b,c)
DENSIDAD	1000 a 2000 Gr/Lt	Densidad Muy Baja (DMB)	a = 1000
			b = 1475
			c = 1500
		Densidad Baja (DB)	a = 1475
			b = 1525
			c = 1575
		Densidad Normal (DN)	a = 1550
			b = 1600
			c = 1650
		Densidad Alta (DA)	a = 1625
			b = 1675
			c = 1725
		Densidad Muy Alta (DMA)	a = 1700
			b = 1750
			c = 2000

Fuente: Elaboración propia.

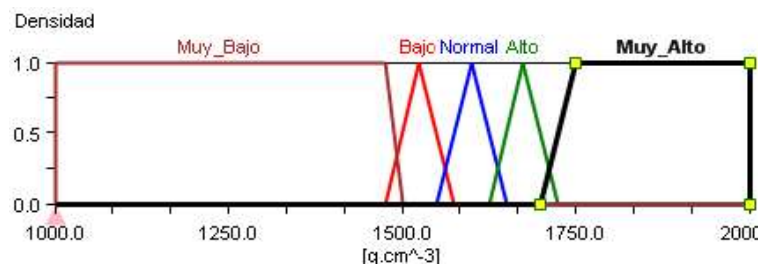


Figura 3.32. Funciones de membresía rangos de densidad.

Fuente: Elaboración propia.

2) Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Mineral Fresco.

Tabla 3.6. Términos lingüísticos y asignación de rangos, Mineral fresco.

VARIABLE	RANGO	Termino Lingüístico	Valor (a,b,c)
MINERAL FRESCO	0 a 120 Tn/h	Peso Bajo (PB)	a = 0
			b = 90
			c = 98
		Peso Normal (PN)	a = 95
			b = 102
			c = 105
		Peso Alto (PA)	a = 102
			b = 110
			c = 120

Fuente: Elaboración propia.

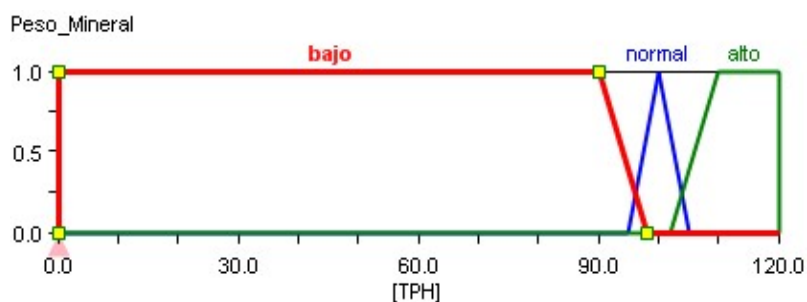


Figura 3.33. Funciones de membresía rangos de ingreso de Mineral.

Fuente: Elaboración propia.

3) Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Ingreso de agua al molino.

Tabla 3.7: Términos lingüísticos y asignación de rangos, Ingreso de agua al Molino.

VARIABLE	RANGO	Termino Lingüístico	Valor (a,b,c)
			a = 0

AGUA AL MOLINO	0 a 40 M3	Agua Baja (AB)	b = 90
			c = 98
		Agua Normal (AN)	a = 95
			b = 102
			c = 105
		Agua Alto (AA)	a = 102
			b = 110
			c = 120

Fuente: Elaboración propia.

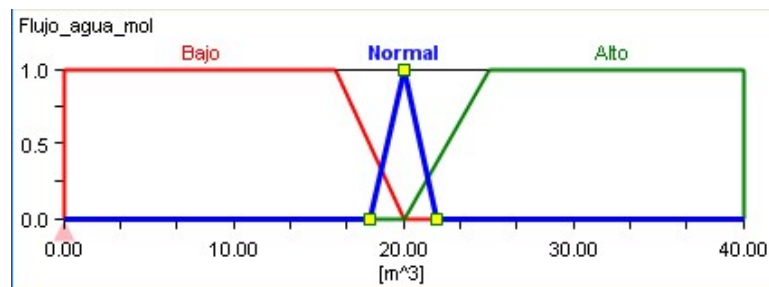


Figura 3.34. Funciones de membresía rangos de ingreso de Agua al molino.

Fuente: Elaboración propia.

4) Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Ingreso de agua al Cajón de Bombas.

Tabla 3.8. Términos lingüísticos y asignación de rangos, Ingreso de agua al cajón de bombas.

VARIABLE	RANGO	Termino Lingüístico	Valor (a,b,c)
		Flujo Muy Bajo (FMB)	a = 0
			b = 165
			c = 167.5
			a = 165

AGUA AL CAJÓN DE BOMBA	0 a 200 M3	Flujo Bajo (FB)	b = 170 c = 175
			a = 170
		Flujo Normal (FN)	b = 180 c = 190
			a = 185
		Flujo Alto (FA)	b = 190 c = 195
			a = 192.5
		Flujo Muy Alto (FMA)	b = 195 c = 200

Fuente: Elaboración propia.

5) Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Nivel del Cajón de Bombas.

Tabla 3.9. Términos lingüísticos y asignación de rangos, Nivel del cajón de bombas.

VARIABLE	RANGO	Termino Lingüístico	Valor (a,b,c)
NIVEL CAJÓN DE BOMBA	0 a 100 %		a = 0
		Nivel Bajo (NB)	b = 27.5 c = 32.5
			a = 30
		Nivel Normal (NN)	b = 35 c = 40
			a = 37.5
		Nivel Alto (NA)	b = 40 c = 42.5

Fuente: Elaboración propia.

6) Asignación de términos lingüísticos y rangos, variable Nivel del Cajón de Bombas.

Index	Active	IF			THEN	
		Tonelaje por Hora	Densidad de pulpa	Nivel de Cajon	Valvula de ingreso de agua a Molino	SP REF VFD 1 (Ton/Hor)
1	SI	Bajo Bajo	Bajo Bajo	Bajo	25%	[100 A 105]
2	SI	Bajo	Bajo Bajo	Bajo	25%	[100 A 105]
3	SI	Medio	Bajo Bajo	Medio	25%	[95 A 100]
4	SI	Bajo Bajo	Bajo	Bajo	35%	[100 A 105]
5	SI	Bajo	Bajo	Bajo	35%	[100 A 105]
6	SI	Medio	Bajo	Medio	35%	[95 A 100]
7	SI	Bajo Bajo	Medio	Bajo	50%	[95 A 100]
8	SI	Bajo	Medio	Bajo	50%	[95 A 100]
9	SI	Medio	Medio	Medio	50%	[95 A 100]
10	SI	Medio	Alto	Medio	70%	[95 A 100]
11	SI	Alto	Alto	Alto	70%	[90 A 95]
12	SI	Alto Alto	Alto	Alto	70%	[90 A 95]
13	SI	Medio	Alto Alto	Medio	100%	[90 A 95]
14	SI	Alto	Alto Alto	Alto	100%	[90 A 95]
15	SI	Alto Alto	Alto Alto	Alto	100%	[90 A 95]

Figura 3.35. Matriz FAM del proceso

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2 Desarrollo del bloque de control difuso.

En las siguientes imágenes se muestra todo el procedimiento para ingresar a la plataforma de ABB, donde ya están incluidos todos los controles convencionales del control del proceso de molienda de la minera.

Sobre eso diseñamos mediante las librerías de Fuzzy el control para optimizar el proceso tal y como se detalla pasó a paso a continuación:

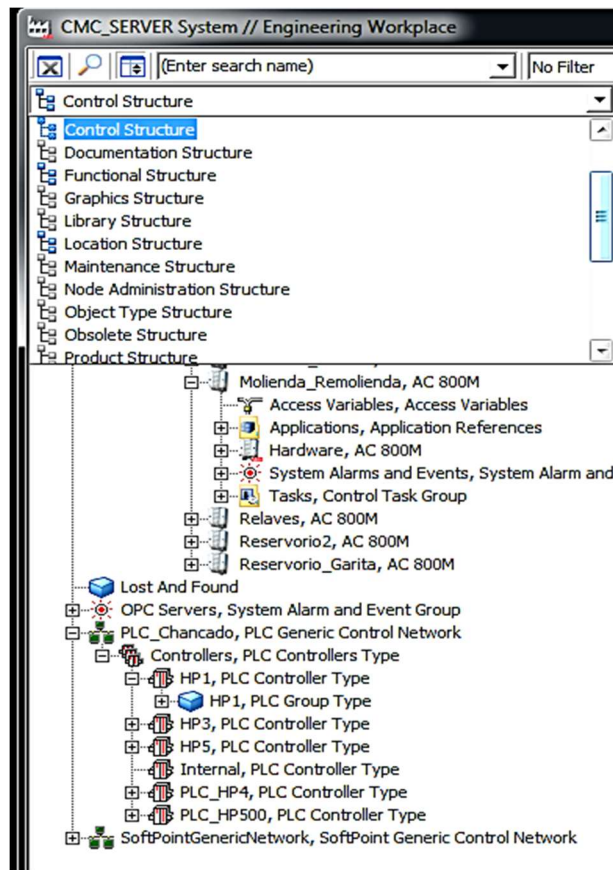


Figura 3.36. Pantalla Engineering Workplace System 800xA.

Fuente: Elaboración propia.

La **figura 3.35**: muestra la pantalla del Engineering Workplace, desde donde se accede a todo el sistema de control del System 800xA, desde aquí ingresamos al Control Structure que donde están todas las redes creadas para cada proceso Chancado, molienda, flotación y filtrado.

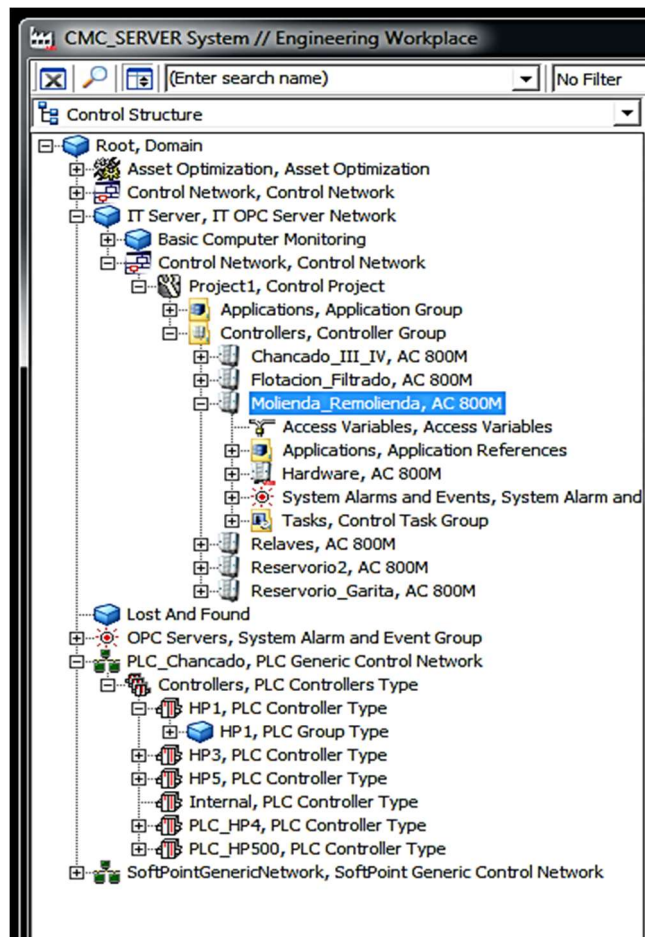


Figura 3.37. Pantalla dentro del Control Structure ingreso a bloque molienda.

Fuente: Elaboración propia.

- Dentro del Control Structure, vamos a la red de control de Molienda desde aquí se ingresa a la plataforma del control Builder para el desarrollo y programación del bloque difuso.
- En la Figura 3.37, Desde esta ventana abrimos de Project Explorer y esta extensión nos envía hacia el Control Builder que es la plataforma donde se realiza la programación del sistema experto.

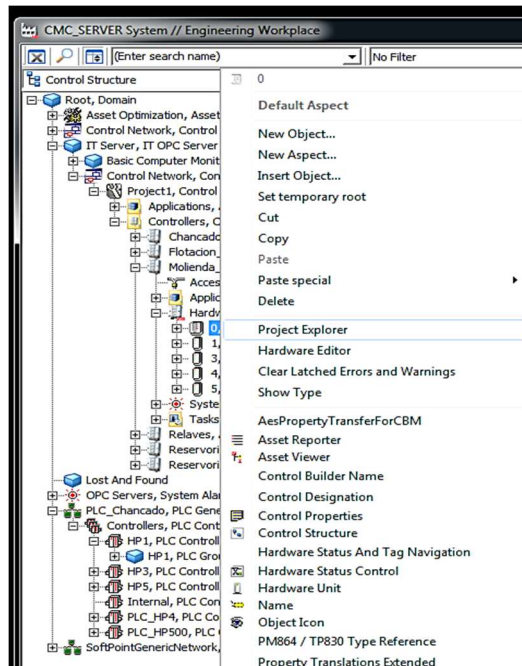


Figura 3.38. Ventana para ingreso al Control Builder.

Fuente: Elaboración propia.

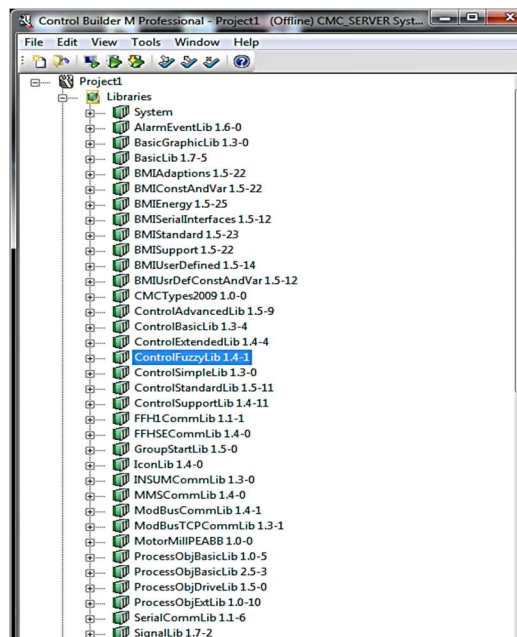


Figura 3.39: ControlFuzzyLib 1.4-1, librería de herramientas de desarrollo fuzzy.

Fuente: Elaboración propia.

En esta ventana se observa corriendo el Control Builder junto con todas sus librerías de programación, el Control Builder M Professional, incluye la librería fuzzy, denominado ControlFuzzyLib 1.4-1, esta librería contiene todas las herramientas para la creación de algoritmos basados en lógica difusa.

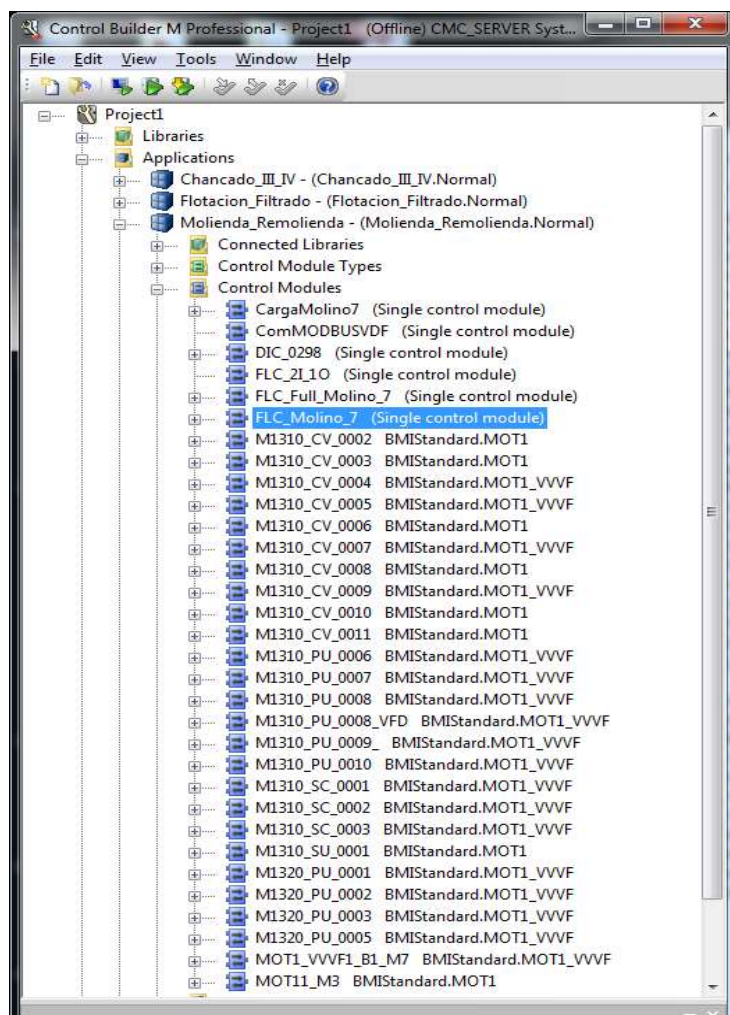


Figura 3.40. Librería de control modules establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Ingresamos a la aplicación mostrada en la **figura 3.41** y desde ahí desplegamos los módulos

de control (control module) ahí se realizó el desarrollo del bloque Fuzzy perteneciente al molino Nro. 7, que contara con 3 entradas y 2 salidas.

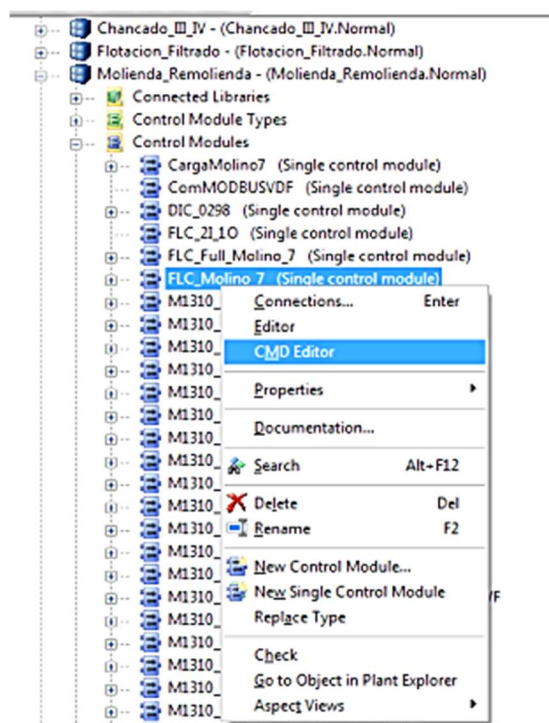


Figura 3.41. Ingreso al CMD Editor.

Fuente: Elaboración propia.

Desde aquí lanzamos el CMD Editor para diseñar, editar y visualizar el contenido del módulo de control.

En la librería de Control Modules viene definidos bloques de control Fuzzy, en la **figura 3.41** se muestran 2 bloques de control de 3 entradas y 2 salidas junto con 3 bloques de control de 2 entradas 1 salida.

Los bloques de control 2x1 se realizaron para simular el comportamiento individual de cada variable y a la vez sirvió como muestra, en las pruebas iniciales para el desarrollo del bloque

de control 3x2.

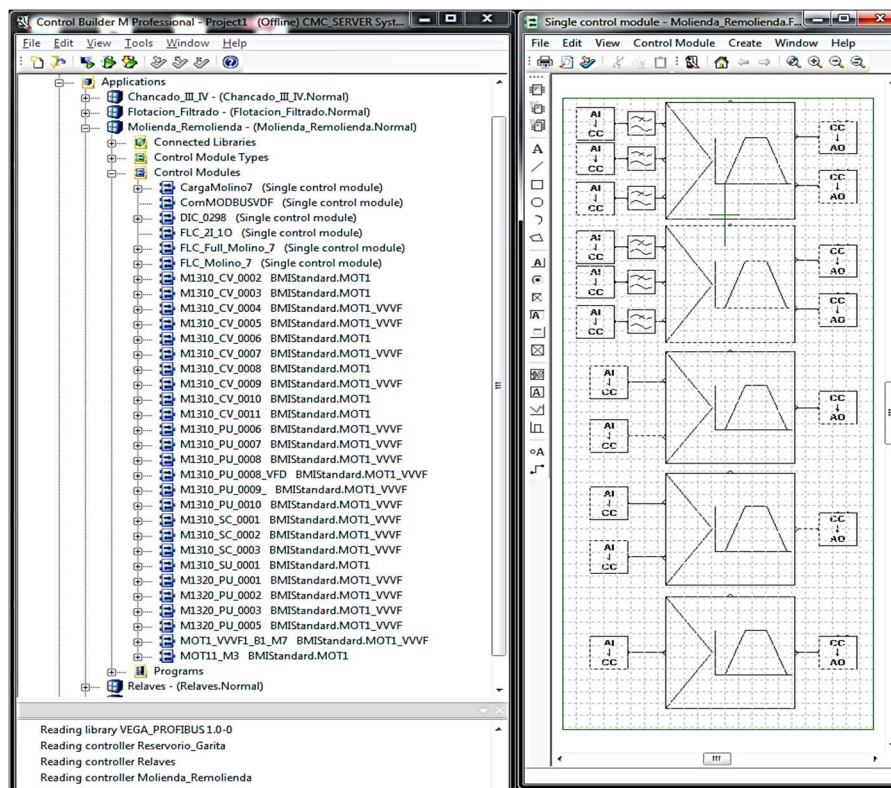


Figura 3.42. Módulo de control de desarrollo de los bloques 3 x 2 y 2 x 1.

Fuente: Elaboración propia.

Aquí tenemos el módulo de control desplegado con bloque FLC de 3 x 2, estos reciben las señales de las siguientes variables, TPH, Densidad, Flujo de agua.

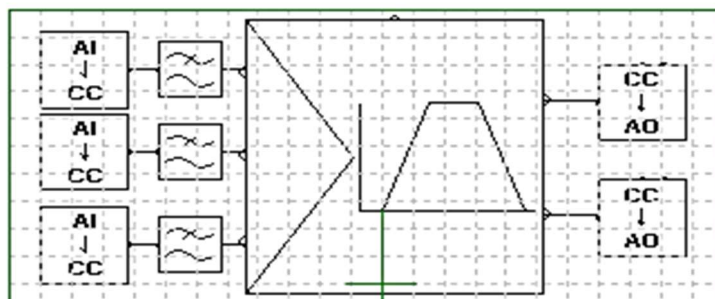


Figura 3.43. Bloque de control Fuzzy 3 x 2.

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de los bloques de control de entrada, programación de las reglas difusas y los boques de control de salida direccionada a las variables reales en campo

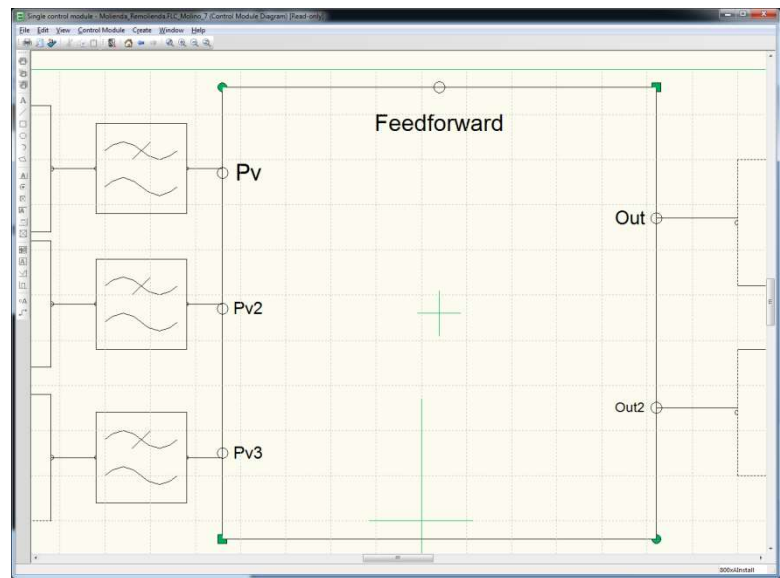


Figura 3.44. Diseño del bloque difuso 3x2.

Fuente: Elaboración propia.

IN: Entradas al bloque difuso

PV: Aquí se conecta la variable de control de Densidad.

PV2. Aquí se conecta la variable de control de Tonelaje.

PV3. Aquí se conecta la variable de control de nivel.

OUT: Salida del bloque difuso

Out: Salida para el control de velocidad VFD de la faja de alimentación al molino.

Out2: Salida para el control de velocidad VFD de la bomba de descarga del cajón.

En las siguientes figuras se observa el diseño del bloque (3 x 2) 3 entradas 2 salidas solo se tiene que hacer zoom en el bloque difuso para ingresar a la pantalla de programación y definición de reglas.



Figura 3.45. Interior del bloque difuso desarrollado para la programación y direccionamiento de entradas, reglas y salidas.

Fuente: Elaboración propia.

Para ingresar una nueva regla mostrado en la imagen de color verde se hace clic derecho sobre el bloque indicado en la **Figura 3.45** con el número 1 y se jala un control Module tipo IN, este se mantiene en rojo hasta definir los rangos y tipo de entrada dentro del bloque mostrado en la **Figura 3.45**

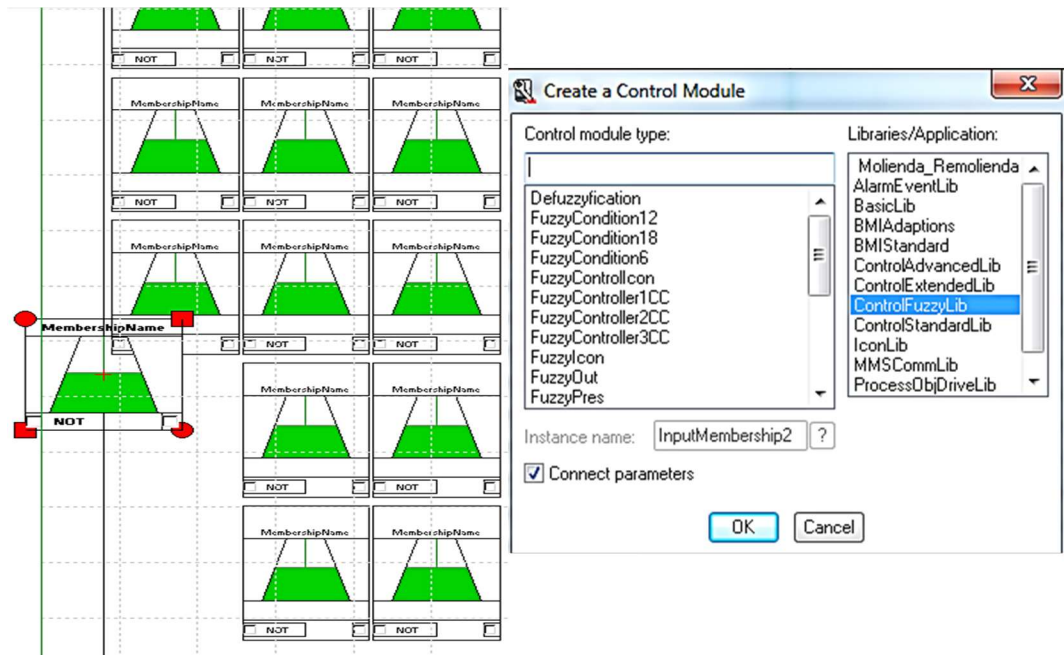


Figura 3.46. Programación y creación de entradas difusas.

Fuente: Elaboración propia.

Para definir las reglas de control según los parámetros y rangos definidos en la matriz FAM, se selecciona cada una de las entradas según las variables lingüísticas definidas y rangos definidos estos datos se ingresan tal y como se muestra en la **Figura 3.46**:

Ejemplo:

Densidad (Media), Nivel (Alto), Tonelaje (Medio) entonces abrir 10% válvula de control de agua. Es así como funciona el bloque sobre el proceso.

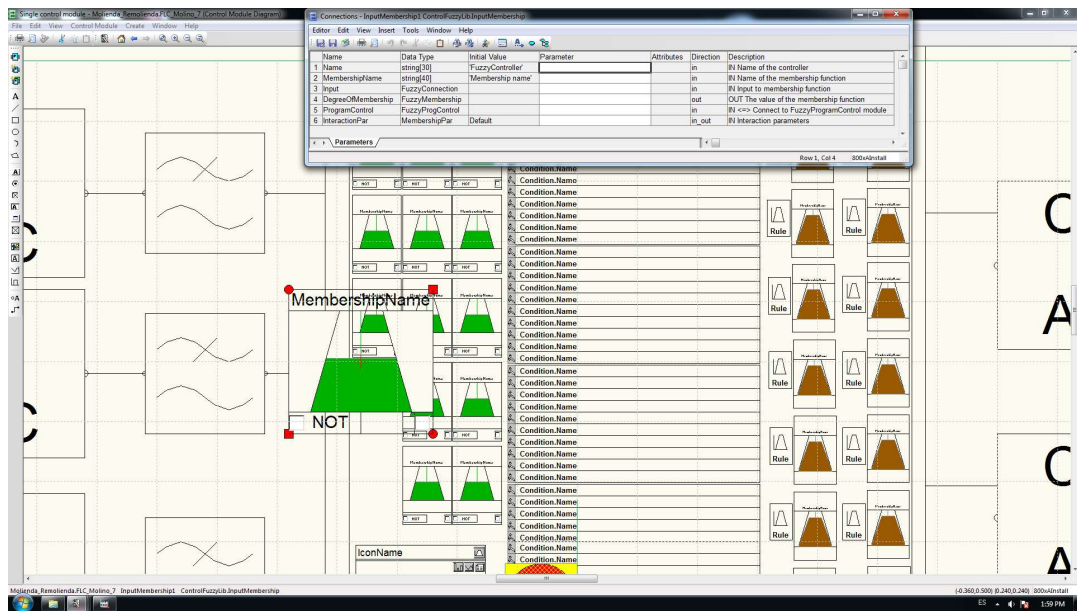


Figura 3.47. Conexión de funciones de membresía

Fuente: Elaboración propia.

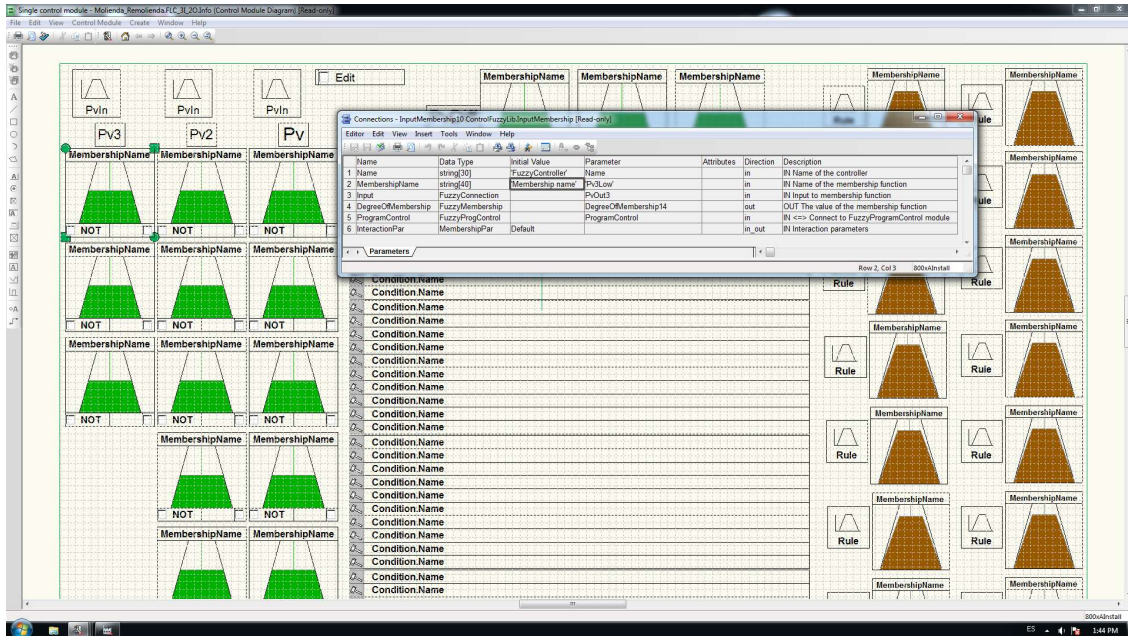


Figura 3.48. Asignación de parámetros de función de membresía

Fuente: Elaboración propia.

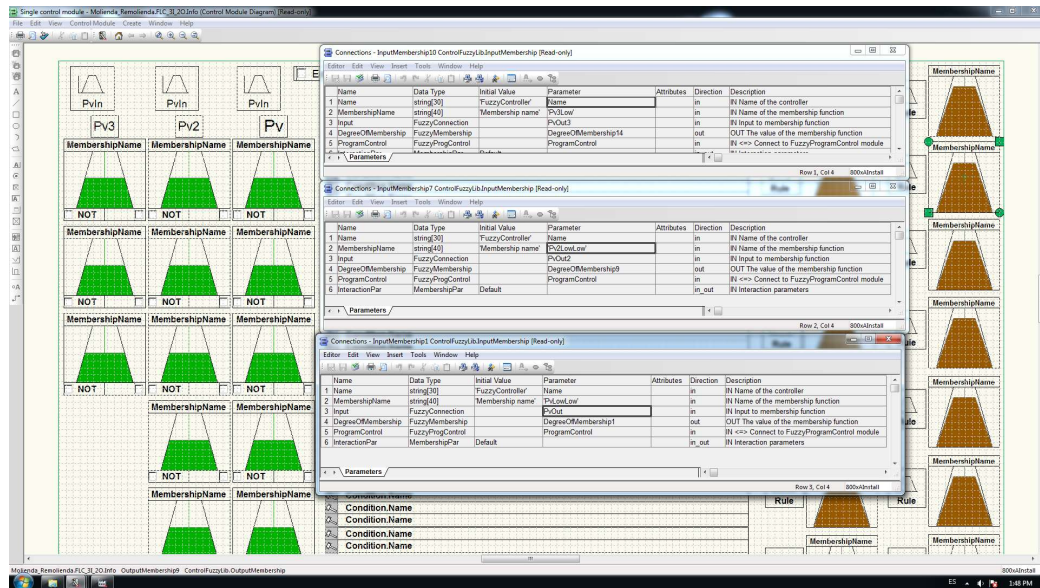


Figura 3.49. Parámetros de conexión defunciones de membresía.

Fuente: Elaboración propia.

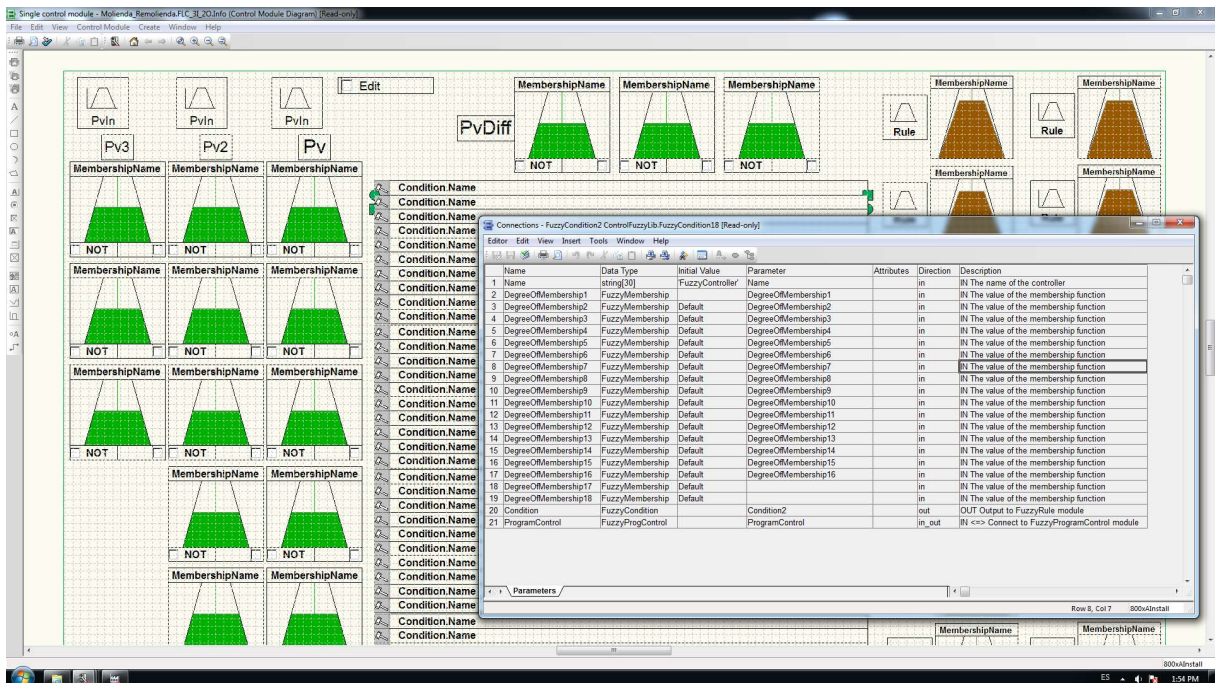


Figura 3.50. Conexión de funciones de membresía de fuzzyficación.

Fuente: Elaboración propia.

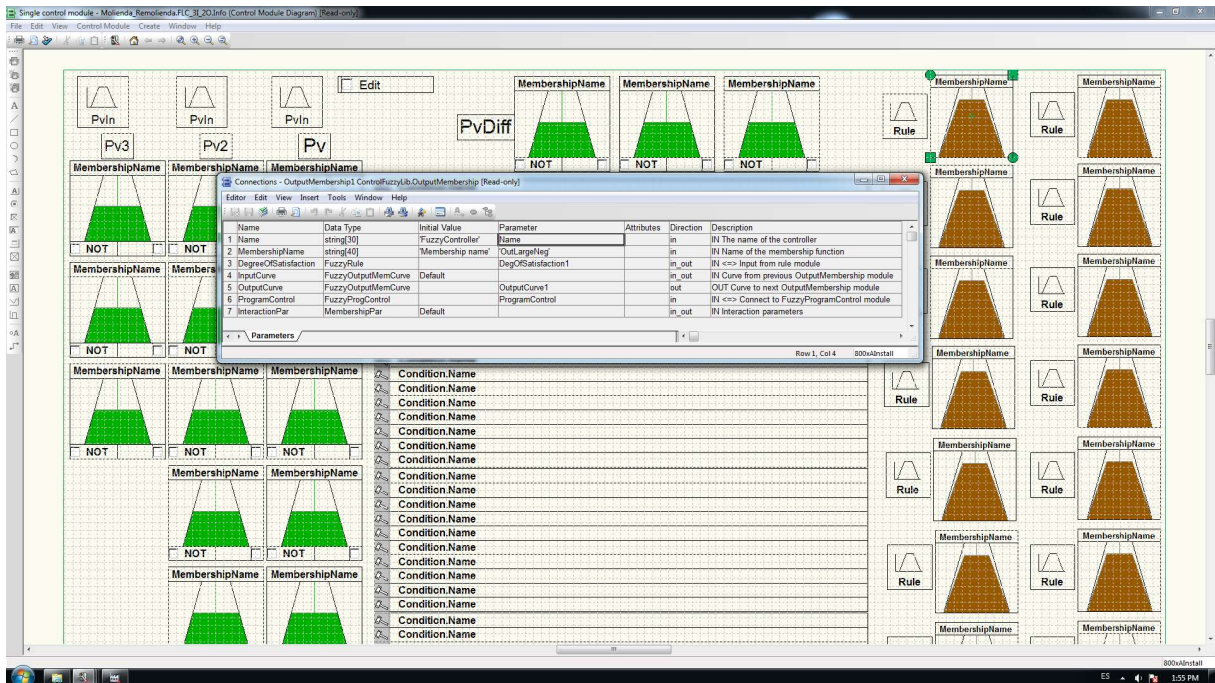


Figura 3.51. Determinando el número de reglas.

Fuente: Elaboración propia.

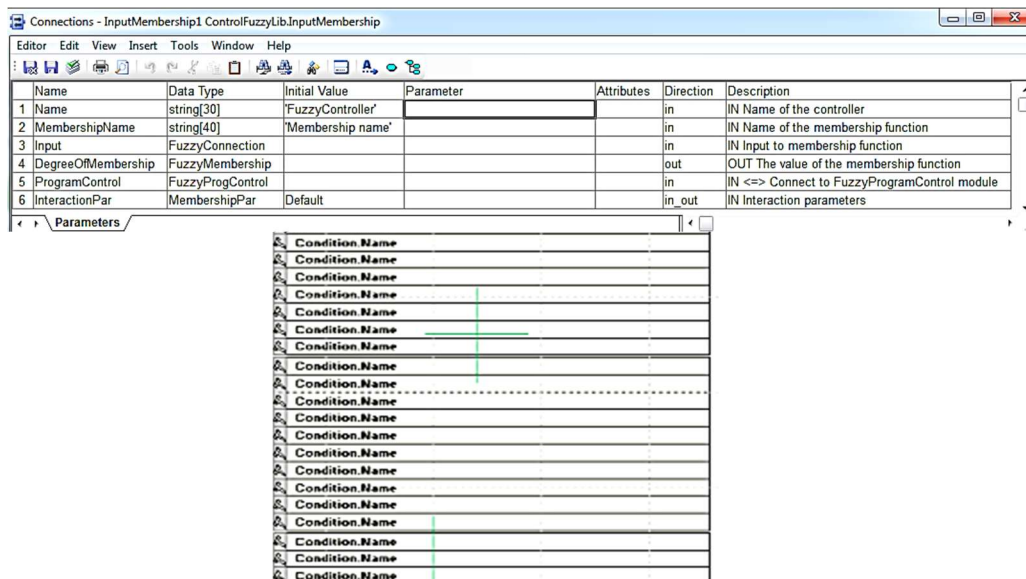


Figura 3.52. Ingreso de funciones de membresía establecidas en los Control modules.

Fuente: Elaboración propia.

	PvLow AND Pv2low AND Pv3Low
	PvLow AND Pv2low AND Pv3Medium
	PvLow AND Pv2low AND Pv3High
	PvLow AND Pv2Medium AND Pv3Low
	PvLow AND Pv2Medium AND Pv3Medium
	PvLow AND Pv2Medium AND Pv3High
	PvLow AND Pv2High AND Pv3Low
	PvLow AND Pv2High AND Pv3Medium
	PvLow AND Pv2High AND Pv3High
	PvMedium AND Pv2low AND Pv3Low
	PvMedium AND Pv2low AND Pv3Medium
	PvMedium AND Pv2low AND Pv3High
	PvMedium AND Pv2Medium AND Pv3Low
	PvMedium AND Pv2Medium AND Pv3Medium
	PvMedium AND Pv2Medium AND Pv3High
	PvMedium AND Pv2High AND Pv3Low
	PvMedium AND Pv2High AND Pv3Medium
	PvMedium AND Pv2High AND Pv3High
	PvHigh AND Pv2low AND Pv3Low
	PvHigh AND Pv2low AND Pv3Medium
	PvHigh AND Pv2low AND Pv3High
	PvHigh AND Pv2Medium AND Pv3Low
	PvHigh AND Pv2Medium AND Pv3Medium
	PvHigh AND Pv2Medium AND Pv3High
	PvHigh AND Pv2High AND Pv3Low
	PvHigh AND Pv2High AND Pv3Medium

Figura 3.53. Funciones de membresía establecidas en valores Low, Medium y Hihg.

Fuente: Elaboración propia.

IF	OR	THEN	OutPos
<input checked="" type="checkbox"/>		PvLow AND Pv2low AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvLow AND Pv2low AND Pv3Medium	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvLow AND Pv2low AND Pv3High	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvLow AND Pv2Medium AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvLow AND Pv2Medium AND Pv3Medium	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvLow AND Pv2Medium AND Pv3High	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvLow AND Pv2High AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2low AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2low AND Pv3Medium	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2low AND Pv3High	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2Medium AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2Medium AND Pv3Medium	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2Medium AND Pv3High	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2High AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2High AND Pv3Medium	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvMedium AND Pv2High AND Pv3High	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2low AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2low AND Pv3Medium	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2low AND Pv3High	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2Medium AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2Medium AND Pv3Medium	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2Medium AND Pv3High	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2High AND Pv3Low	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2High AND Pv3Medium	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvHigh AND Pv2High AND Pv3High	
<input checked="" type="checkbox"/>		PvLow AND Pv2LowLow AND Pv2High	

Figura 3.54. Activación y desactivación de reglas de control establecidas.

Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo de la función del bloque de salida se selecciona las variables de OUT que están de color marrón en las figuras y aparece una ventana donde se activan las nuevas reglas de pertenencia que activaran la entrada cuando llegue a los valores establecidos.

En la **figura 3.49** se muestra el Ingreso de una nueva función de salida para la defuzzificación del bloque desarrollado.

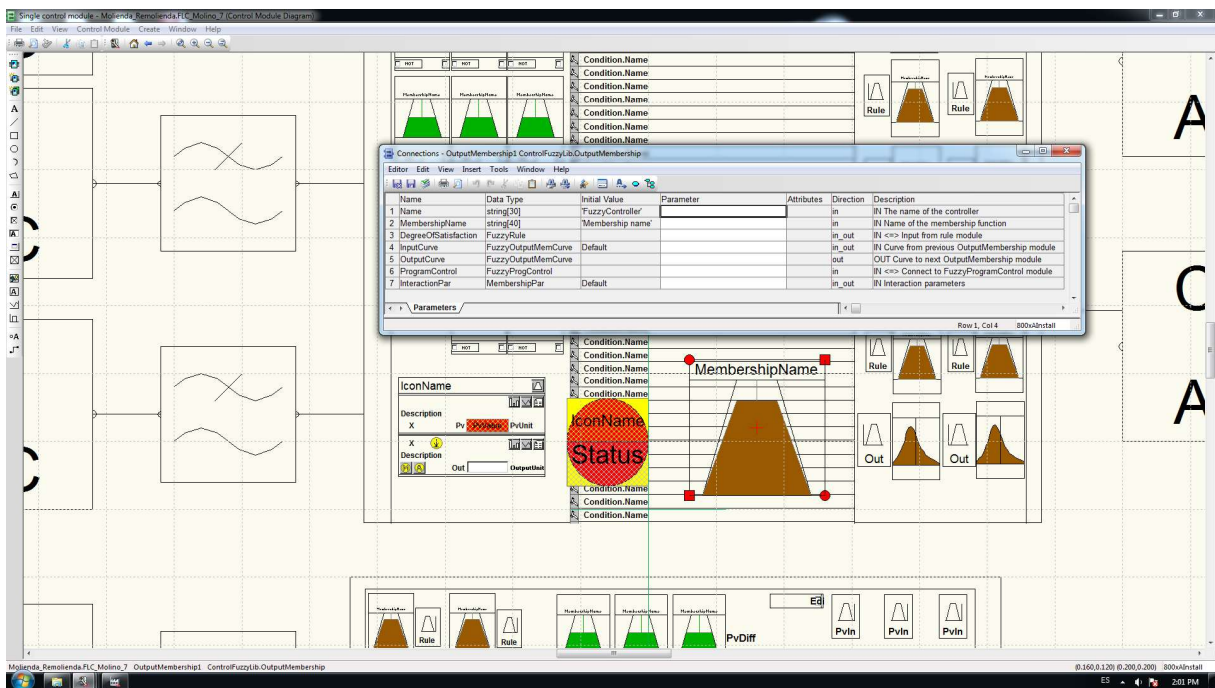


Figura 3.55. Conexión de función de defuzzificación.

Fuente: Elaboración propia.

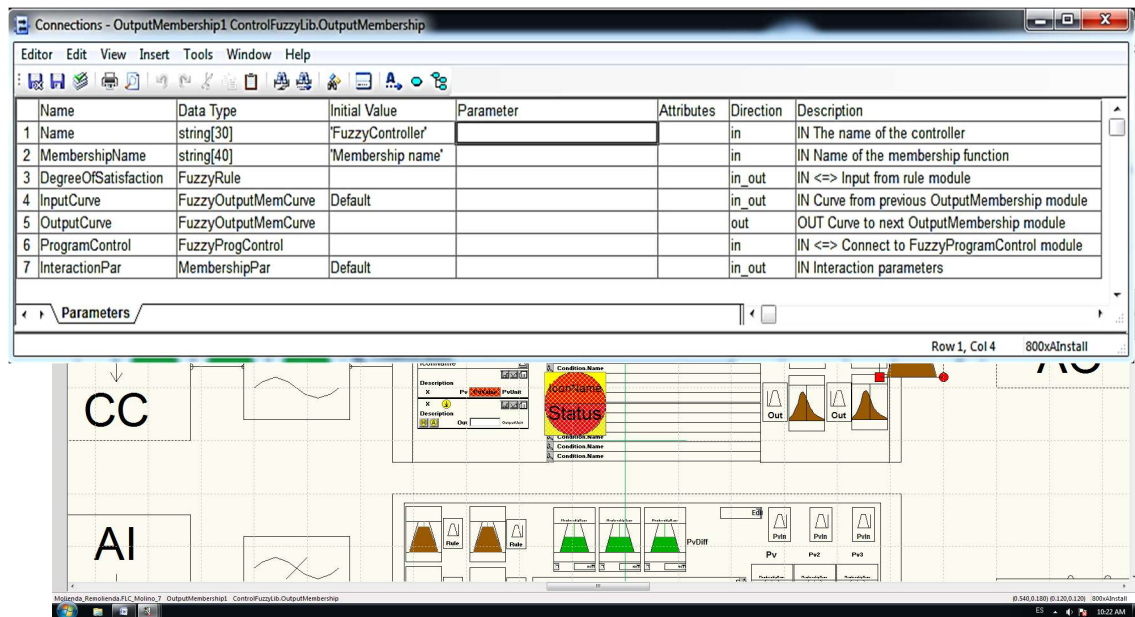


Figura 3.56. Ingreso de una función de salida desfuzzificada.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de crear la función de salida se realiza el ingreso de una nueva regla, para habilitar un escenario de salida para activar las variables de procesos direccionadas a cada salida.

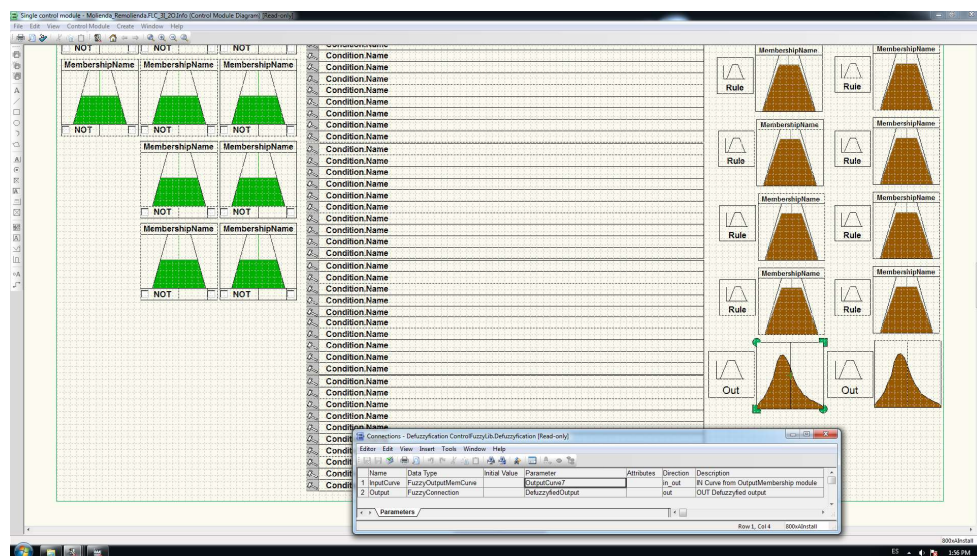


Figura 3.57. Conexión de salida defuzzificada

Fuente: Elaboración propia.

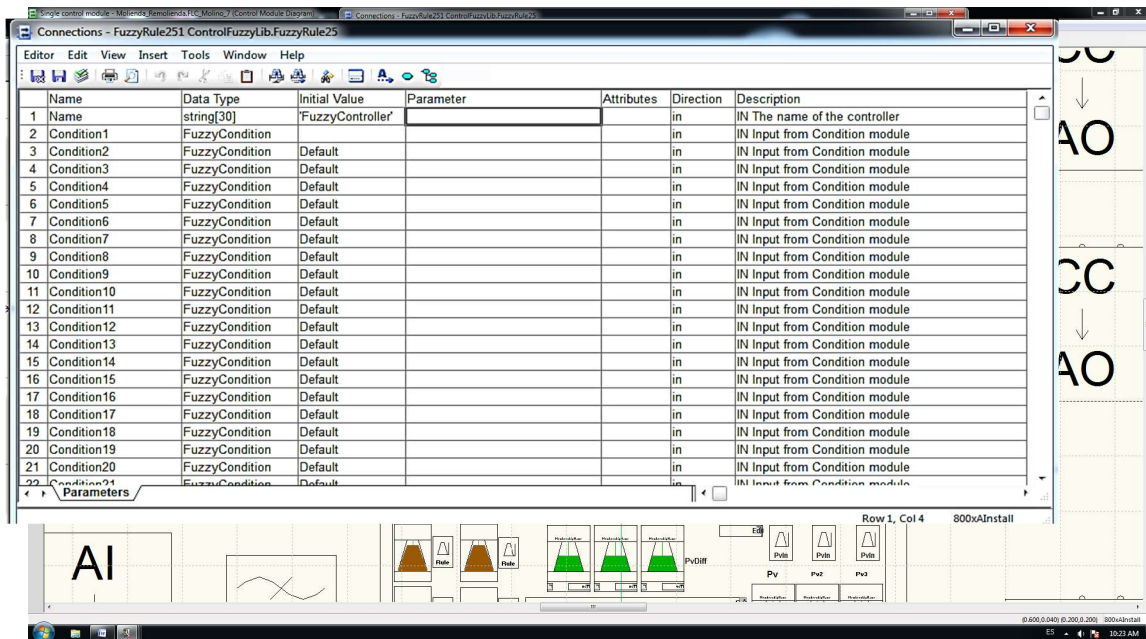


Figura 3.58. Reglas para activar los escenarios de salida.

Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo de los bloques 3 x 2 se realiza esta acción en modo de edición, donde se conectan entradas y salidas, se configuran los rangos de las funciones de membresía y cantidad de términos lingüísticos que se usaran para cada variable de estado. Así mismo de incrementa las reglas y cantidad de entradas y salidas del bloque FLC. Todo esto se realiza en modo off line del CPU del procesador.

Para poder realizar los ajustes de las reglas y las funciones de membresía, esta acción se realiza en modo Online y verificar los errores y correr el programa se realiza tal y como se muestra en la **figura 3.51**, ingresando al control modules y seleccionando la opción **Interaction Windows**.

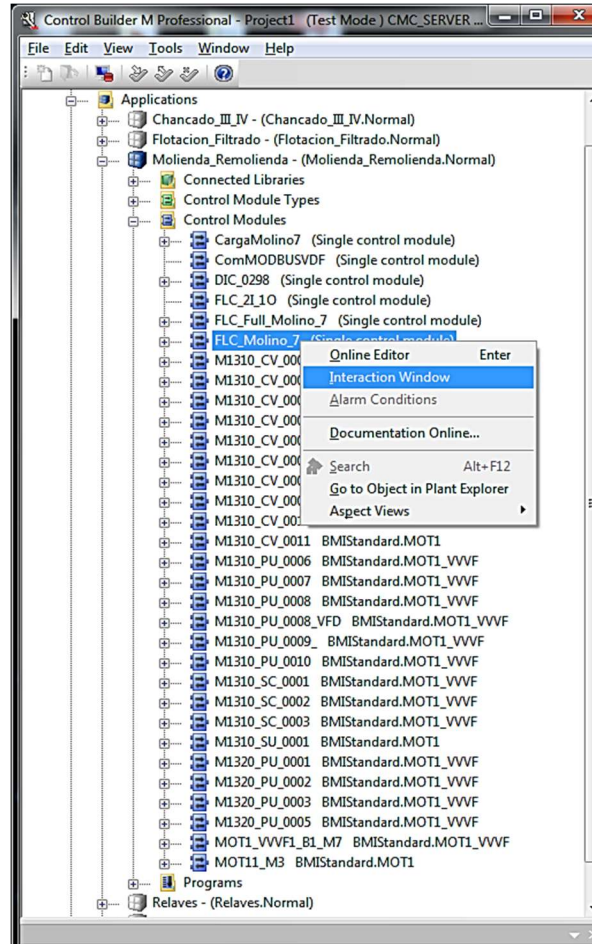


Figura 3.59. Ventana de interacción en modo Online.

Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 3.60** se puede observar el bloque FLC desplegado en modo Online, corriendo con todas las reglas definidas inicialmente en la matriz FAM.

Se observa la ventana donde se configura y sintoniza el bloque de control FLC diseñado.

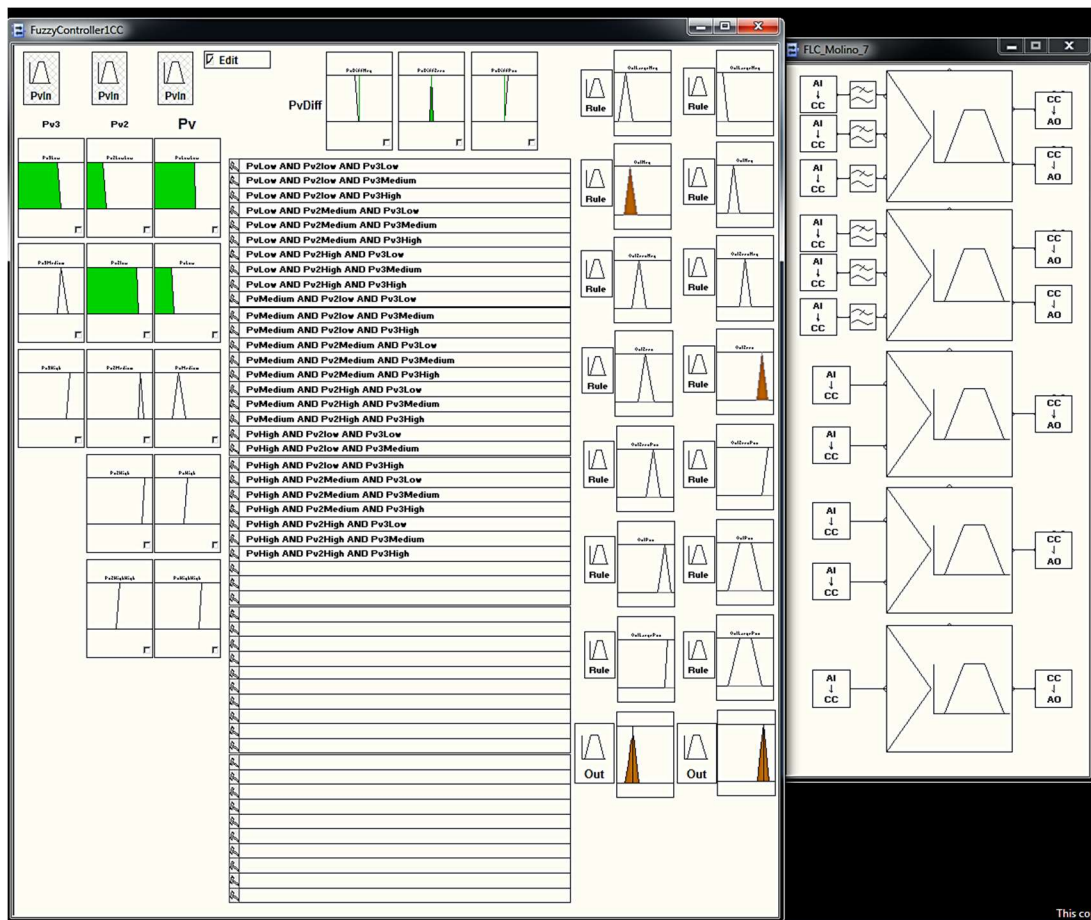


Figura 3.60. Ventana para sintonía de reglas.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.3 Modo de funcionamiento y sintonía del sistema experto.

Desde esta pantalla se realiza la sintonía del controlador difuso, se ingresa a cada bloque difuso de entrada y salida y a la vez se puede borrar incrementar y borrar nuevas reglas.

Cambiar rangos de las funciones de membresía, en entrada, salida y formar las salidas en tipo triangular y trapezoidal.

Todos los parámetros son cambiados en la etapa de prueba para llegar a un óptimo control del proceso.

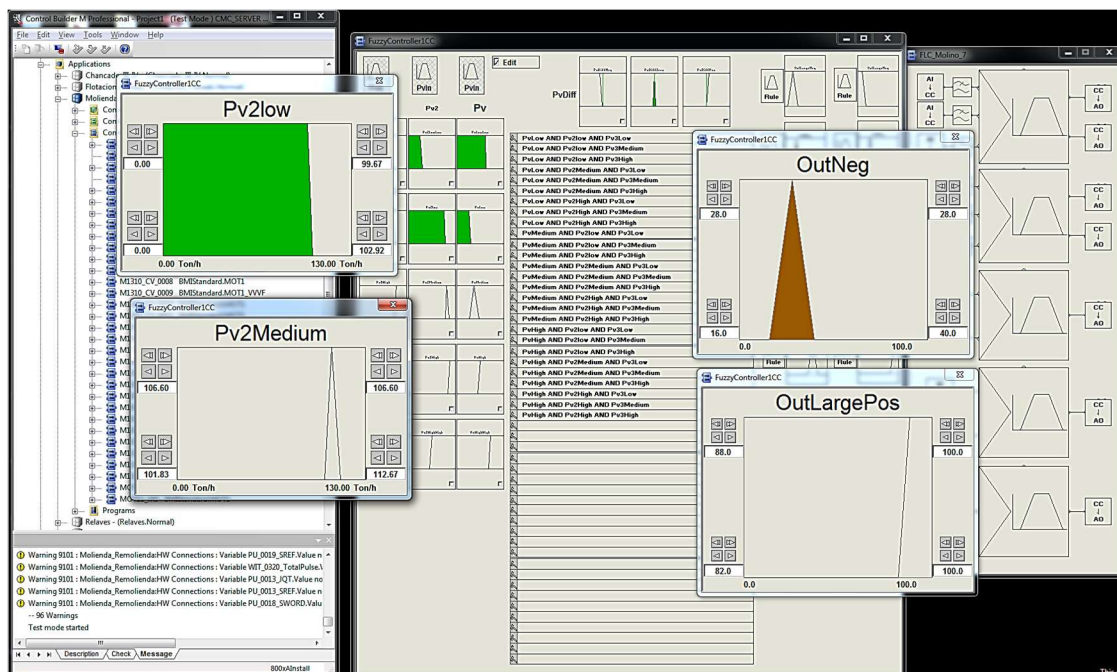


Figura 3.61. Sintonía y declaración de nuevas reglas de control.

Fuente: Elaboración propia.

Los procesos de sintonía más usados son los tipo triangular y tipo trapezoidal tal y como se observa en la **figura 3.61**.

3.3.2.4 Modos de operación del sistema experto.

Dentro de la pantalla diseñada para el sistema experto de molienda se muestran dos modos de operación:

1. **Modo Manual:** En este modo de operación el control del proceso de molienda se realiza tal como era antes de instalar el sistema experto.
 - En modo Manual, los botones del sistema experto están en modo OFF.

2. **Modo Remoto:** En este modo se tiene el control de los variadores de velocidad VFD de la faja de alimentación de carga y de la bomba del cajón. También se tiene control de las válvulas de control de agua del molino.
- En modo experto, los botones del sistema experto están en modo ON.
 - Cuando se pasa de modo manual a modo automático, los variadores y las válvulas siguen trabajando de forma normal.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Resultados del sistema

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, de los protocolos de aceptación, el incremento en % de la producción de minerales y el proyecto ejecutado al 100%.

4.1.1 Resultados de desarrollo de las pantallas de control.

Luego de terminar el diseño y ejecutar el programa en la plataforma del Graphics Builder, se obtiene la siguiente pantalla final de operación del sistema experto.

En la (figura 4.1), se muestra en marcado en el cuadro rojo, el desarrollo final de la ventana de control del sistema experto diseñado dentro de la pantalla principal de control del molino N° 7, desde esta ventana se ingresa a todas las funciones del sistema de control experto.

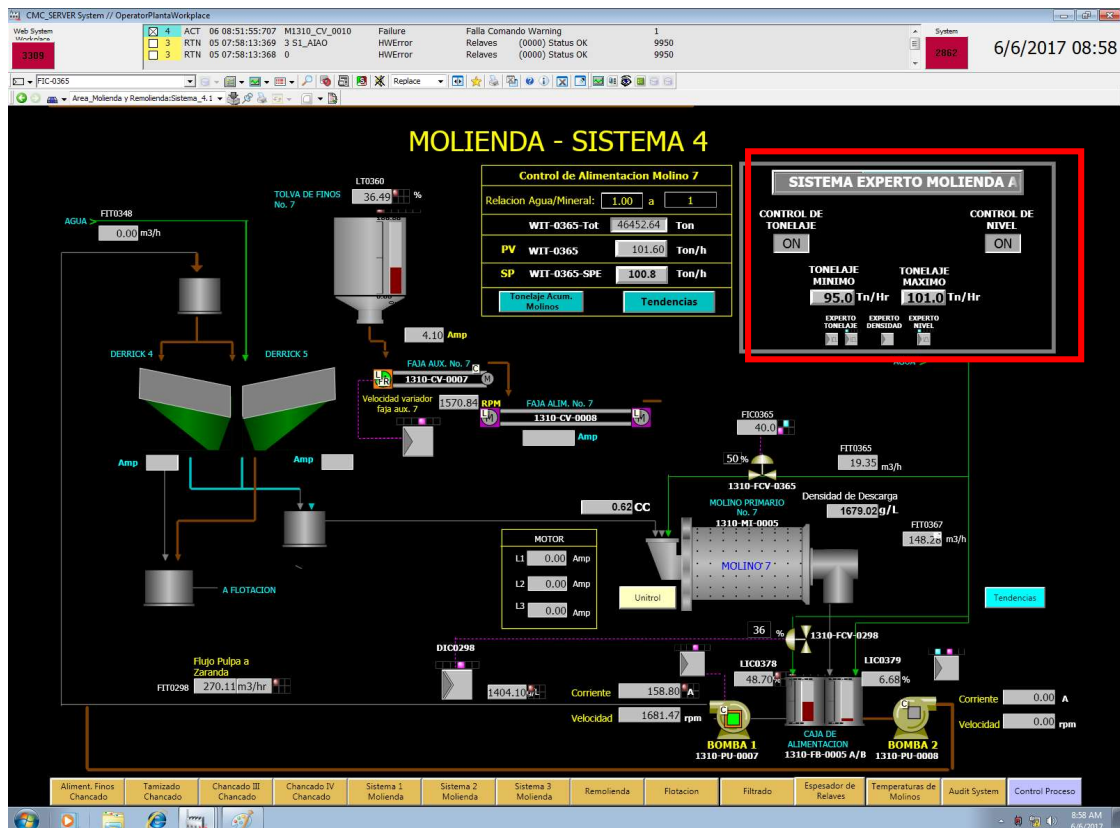


Figura 4.1. Pantalla de operaciones molino 7 incluida ventana del sistema experto.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Comparaciones de resultados de antes y después del proyecto.

4.1.2.1 Cuadro de comparación de resultados con el sistema experto.

Con los datos tomados del DCS de la minera inicialmente, se graficó las siguientes tendencias y se observa comportamientos bruscos en el control de los instrumentos tal y como se muestra en la **Figura 4.2**.

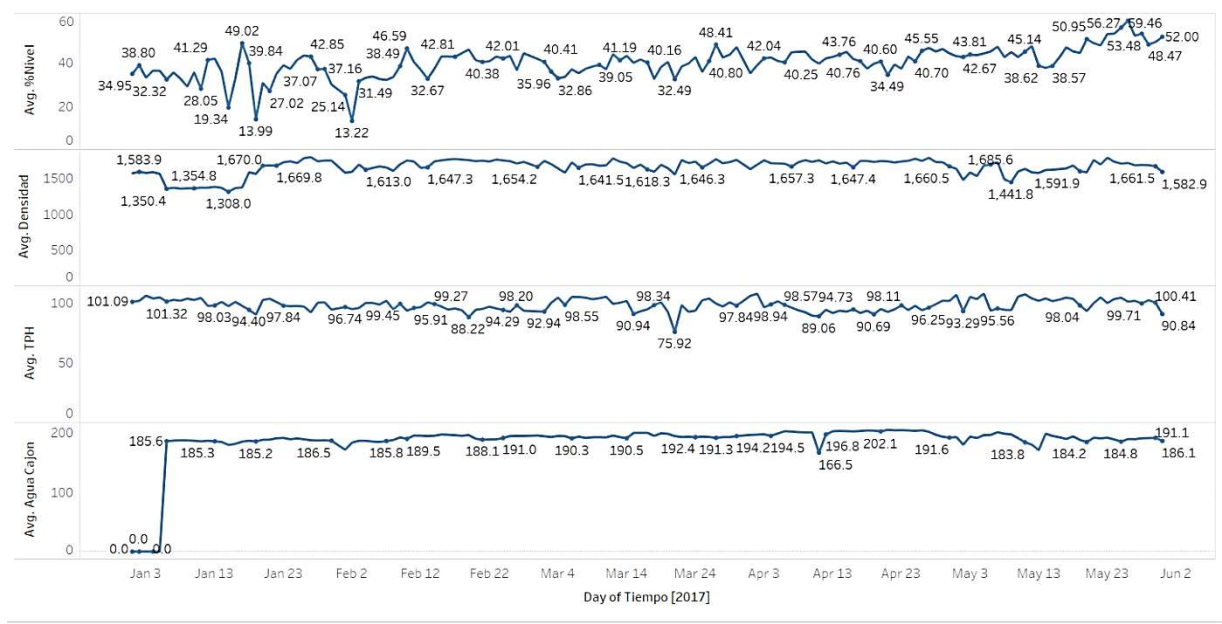


Figura 4.2. Comportamiento del proceso antes de tener el sistema experto.

Fuente: Elaboración propia.

Pruebas realizadas del 1 al 9 de julio, se puede apreciar un incremento en el tonelaje tratado de casi 2 TMPD, en la **Figura 4.3:** y una estabilidad en el proceso comparado con días anteriores mostrado en la **Figura 4.2:**

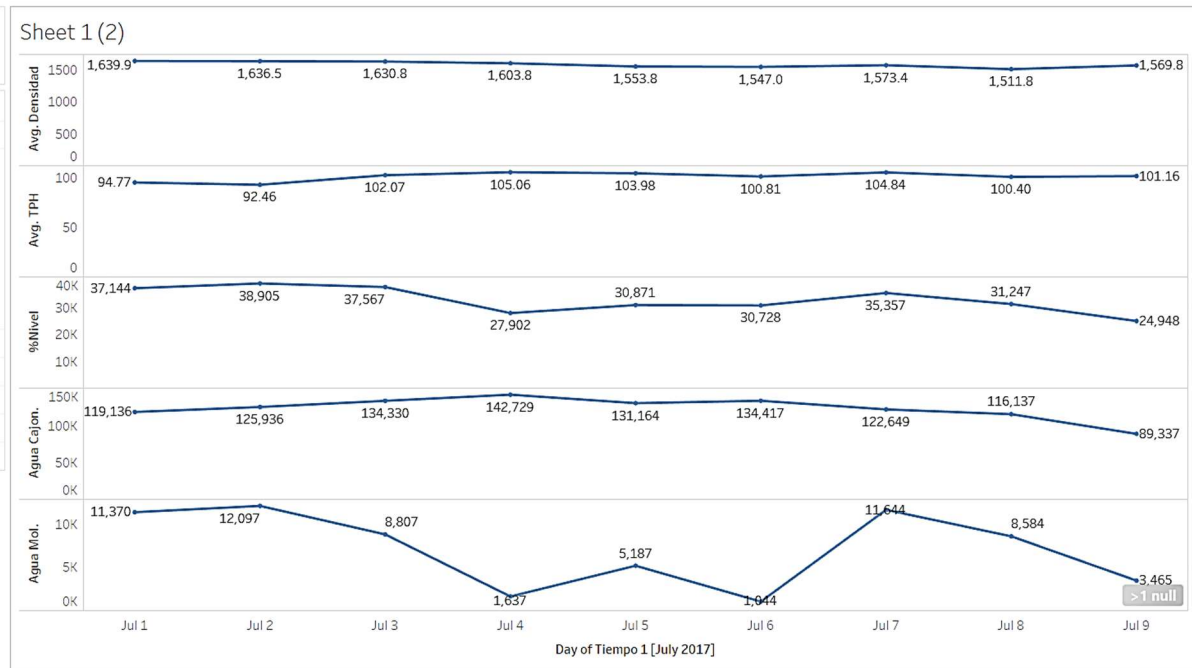


Figura 4.3. Prueba del comportamiento del proceso con el sistema experto.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Validación de Resultados

En esta etapa se realizó la validación de resultados con los jefes de planta de la minera por 6 días, donde se llenaron protocolos de aceptación verificando el comportamiento del funcionamiento del control experto con material duro y material dócil, obteniendo los siguientes resultados mostrados en las figuras líneas abajo, a la vez validados por el jefe de operaciones.

Nota: Todas las validaciones están aceptadas y firmadas por el Ing. Ángel Romero Jefe de planta de la unidad minera.

PROYECTO: E235-BI-MEJORA DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE CHANCADO, MOLIENDA Y REACTIVOS
PLANTA CONCENTRADORA CONESTABLE

REVISIÓN:

AREA: Helienda

FECHA: 10-05-17 TURNO: 2do PERIODO: 4:00 pm - 10:30 pm

OBJETIVO: Validar los datos de operación del molino #7

PLC - LAZO CONTROL DE TONELAJE					
HORA	DENSIDAD	NIVEL	TONELAJE	SP	REAL
4:00 pm	1576,81 gr/L	43,85 %	99,45 tn/h		
4:27 pm	1682,23 gr/L	55,24 %	104,01 tn/h		
4:54 pm	1402,72 gr/L	54,97 %	105,21 tn/h		
5:21 pm	1446,86 gr/L	44,72 %	104,49 tn/h		
5:41 pm	1395,2 gr/L	59,34 %	108,02 tn/h		
6:00 pm	1584,49 gr/L	45,34 %	105,65 tn/h		
6:28 pm	1485,75 gr/L	40,99 %	102,77 tn/h		
6:51 pm	1487,24 gr/L	31,76 %	103,47 tn/h		
7:26 pm	1570,76 gr/L	53,44 %	103,68 tn/h		
7:57 pm	1416,49 gr/L	33,19 %	93,63 tn/h		
8:25 pm	1519,35 gr/L	46,31 %	102,97 tn/h		
8:56 pm	1590,90 gr/L	43,54 %	100,41 tn/h		
9:23 pm	1608,05 gr/L	31,18 %	109,43 tn/h		
9:39 pm	1732,23 gr/L	56,15 %	109,94 tn/h		
9:58 pm	1715,86 gr/L	45,55 %	109,35 tn/h		
10:06 pm	1537,19 gr/L	37,82 %	107,61 tn/h		
10:26 pm	1667,03 gr/L	36,09	108,01 tn/h		
PROMEDIO					
	1548,67 gr/L	43,98 %	104,65		

VALIDACIÓN:

SI ☒ NO ☐

COMENTARIOS:

EL TONELAJE SE TRABAJO CON DIFERENTES VARIACIONES;
DEBIDO AL RATO STOCK EN TOWNS DE FINO

ASISTENTES:

NOMBRES Y APELLIDOS	EMPRESA	FIRMA
1. <u>Richard Huamán H.</u>	<u>FCR Ingenieros</u>	<u>[Firma]</u>
2. <u>ANITA RIVERA A.</u>	<u>CNC</u>	<u>[Firma]</u>
3. <u>Denis Beteta Pacheco</u>	<u>FCR Ingenieros</u>	<u>[Firma]</u>
4. _____	_____	_____
5. _____	_____	_____

Figura 4.4. Protocolo de validación en la segunda guardia fecha: 10/05/17.

Fuente: Elaboración propia.

Modificaciones realizadas en las pruebas de aceptación del proyecto día 10/05/17 – tiempo de prueba del sistema experto 8 horas.

- El mineral pasante por molienda es dócil, se observa por la capacidad de carga pasada por el molino.

PROYECTO: 0289-2-1 MEJORA DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE CHANCADO, MOLIENDA Y REACTIVOS
PLANTA: COCENTRADORA CONESTABLE

REVISOR:

AREA: Molienda

FECHA: 11-05-17 TURNO: 1^{er} PERIODO: 9:00 am - 3:00 pm

OBJETIVO: Validar los datos de sintonia del molino #7

FLC - LAZO CONTROL DE TONELAJE					
HORA	DENSIDAD	NEVEJ	TONELAJE	SP	REAL
9:00 am	1719,50 gr/L	59,97 %	109,46 tn/h		
9:27 am	1573,49 gr/L	39,78 %	109,17 tn/h		
9:59 am	1171,24 gr/L	44,24 %	112,48 tn/h		
10:24 am	1668,05 gr/L	38,45 %	112,13 tn/h		
10:42 am	1665,45 gr/L	33,81 %	114,39 tn/h		
10:58 am	1735,81 gr/L	54,34 %	113,08 tn/h		
11:20 am	1758,04 gr/L	57,3 %	111,89 tn/h		
11:36 am	1752,64 gr/L	44,92 %	114,01 tn/h		
11:52 am	1691,77 gr/L	43,29 %	114,85 tn/h		
12:25 pm	1706,18 gr/L	45,83 %	113,71 tn/h		
12:46 pm	1722,01 gr/L	45,83 %	113,31 tn/h		
1:40 pm	1692,13 gr/L	44,06 %	112,57 tn/h		
1:40 pm	1737,85 gr/L	38,4 %	112,49 tn/h		
2:02 pm	1820,16 gr/L	63,47 %	113,44 tn/h		
2:18 pm	1729,11 gr/L	38,52 %	112,33 tn/h		
2:40 pm	1636,10 gr/L	40,73 %	113,49 tn/h		
2:56 pm	1689,89 gr/L	39,16 %	114,43 tn/h		
PROMEDIO					
	1676,48 gr/L	45,42 %	112,28 tn/h		

VALIDACIÓN:

SI ☒ NO ☐

OBSERVACIONES:

MINERAL BASTANTE DÓCIL

ASISTENTES:

NOMBRE Y APELLIDOS	EMPRESA	FIRMA
1. <u>Richard Hiramán H.</u>	<u>FCR Ingenieros</u>	<u>[Firma]</u>
2. <u>Angel Romero A.</u>	<u>CMC</u>	<u>[Firma]</u>
3. <u>Denis Beteta Pacheco</u>	<u>FCR Ingenieros</u>	<u>[Firma]</u>
4. _____	_____	_____
5. _____	_____	_____

Figura 4.5. Protocolo de validación en la primera guardia fecha: 11/05/17.

Fuente: Elaboración propia.

Modificaciones realizadas en las pruebas de aceptación del proyecto día 11/05/17 – tiempo de prueba del sistema experto 8 horas.

- El mineral pasante por molienda es dócil, se observa por la capacidad de carga pasada por el molino.

PROYECTO: E235-BI: MEJORA DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE CHANCADO, MOLIENDA Y REACTIVOS
PLANTA: CONCENTRADORA CONQUESTABLE

REVISIÓN:

AREA: Molienda

ES: 11-05-17 TURNO: 2do PERIODO: 3:00 pm - 6:00 pm

OBJETIVO: Validar los datos de sintonía del molino #7

FLC - LAZO CONTROL DE TONELAJE					
HORA	DENSIDAD	NEVL.	TONELAJE	SP	REAL
3:01 pm	1626,83 gr/L	51,18 %	113,82 tn/h		
3:12 pm	1727,32 gr/L	47,71 %	115,05 tn/h		
3:28 pm	1724,08 gr/L	39,62 %	113,82 tn/h		
3:39 pm	1798,19 gr/L	46,07 %	112,56 tn/h		
3:55 pm	1752,9 gr/L	41,94 %	111,07 tn/h		
4:06 pm	1777,1 gr/L	39,86 %	104,2 tn/h		
4:22 pm	1785,48 gr/L	41,79 %	96,7 tn/h		
4:33 pm	1679,06 gr/L	37,73 %	100,87 tn/h		
4:44 pm	1586,25 gr/L	43,26 %	101,58 tn/h		
4:55 pm	1529,72 gr/L	47,38 %	105,58 tn/h		
5:00 pm	1520,28 gr/L	60,48 %	108,14 tn/h		
5:06 pm	1607,98 gr/L	49,19 %	109,48 tn/h		
5:16 pm	1544,24 gr/L	50,99 %	100,45 tn/h		
5:27 pm	1398,27 gr/L	50,09 %	110,86 tn/h		
5:38 pm	1489,26 gr/L	47,95 %	110,51 tn/h		
5:49 pm	1449,42 gr/L	41,48 %	110,51 tn/h		
5:54 pm	1466,21 gr/L	49,37 %	110,17 tn/h		
PROMEDIO					
	1641,28 gr/L	46,24 %	108,14 tn/h		

VALIDACIÓN:

SI ☒ NO ☐

DISPOSICIONES:

CONTINUA MINERAL DÓCIL.

ASISTENTES:

NOMBRE Y APELLIDOS	EMPRESA	CIERRE
1. Richard Huamán H.	FCE Ingenieros	
2. ANGEL ROMERO A.	CNC.	
3. Davis Beteta Pacheco	FCE Ingenieros	
4.		
5.		

Figura 4.6. Protocolo de validación en la segunda guardia fecha: 11/05/17.

Fuente: Elaboración propia.

Modificaciones realizadas en las pruebas de aceptación del proyecto día 11/05/17 – tiempo de prueba del sistema experto 3 horas.

- Se continúa con mineral dócil.

PROYECTO: 025818: MEJORA DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE CHANCADO, MOLIENDA Y REACTIVOS
PLANTA CONCENTRADORA CONESTABLE

AREA: Molienda

DA: 11-05-17 TURNO: 1er TURNO PERIODO: 7:00 am - 11:12 am

OBJETIVO: Validar los datos de operación del molino #7

FLC - LAZO CONTROL DE TONELAJE					
HORA	DENSIDAD	NIVEL	TONELAJE	SP	REAL
7:00 am	1670,4 gr/L	51,8 %	105,24 tn/h		105 tn/h
7:21 am	1693,8 gr/L	44,8 %	102,6 tn/h		103 tn/h
7:43 am	1730,4 gr/L	57,3 %	103,4 tn/h		103 tn/h
8:04 am	1754,4 gr/L	86,5 %	103,6 tn/h		103 tn/h
8:26 am	1686,7 gr/L	53,5 %	105,5 tn/h		104,8 tn/h
8:40 am	1703,4 gr/L	56,1 %	101,8 tn/h		107 tn/h
8:55 am	1698,7 gr/L	53,6 %	103,7 tn/h		103,2 tn/h
9:02 am	1733,3 gr/L	44,7 %	102,1 tn/h		103,1 tn/h
9:09 am	1752,2 gr/L	45 %	102,0 tn/h		102 tn/h
9:31 am	1642,7 gr/L	48 %	103,1 tn/h		103,4 tn/h
9:38 am	1638 gr/L	44,2 %	104,18 tn/h		103,8 tn/h
9:52 am	1576,4 gr/L	40,2 %	103,86 tn/h		104,5 tn/h
10:00 am	1610,9 gr/L	52,3 %	104,1 tn/h		104,3 tn/h
10:21 am	1590,9 gr/L	40,3 %	104 tn/h		104,9 tn/h
10:36 am	1595,8 gr/L	39,18 %	104,86 tn/h		104,8 tn/h
10:50 am	1527,7 gr/L	46,29 %	104,49 tn/h		105 tn/h
11:12 am	1501,5 gr/L	61,81 %	104,2 tn/h		105 tn/h
PROMEDIO					
	1653,36	50,78	103,4 tn/h		103,97 tn/h

VALIDACIÓN: ☒ SI ☐ NO

OBSERVACIONES:

- LOS PARÁMETROS DEL TONELAJE ESTUVIERON ENTRE 102 A 105 TPH
- FALTA INCLUIR AL ROBO EXPUESTO LA CARGA VOLUMÉTRICA VARIABLE IMPORTANTE PARA DETERMINAR DENSIDAD EN DELEGADO DEL ANIMO

ASISTENTES:

NOMBRE Y APELLIDOS	EMPRESA	FIRMA
1. Richard Huamán H.	FCR Ingenieros	
2. ANGEL RONDON A.	CAC	
3. Denis Beteta P.	FCR Ingenieros	
4.		
5.		

Figura 4.7. Protocolo de validación en la primera guardia fecha: 13/05/17.

Fuente: Elaboración propia.

Modificaciones realizadas en las pruebas de aceptación del proyecto día 13/05/17 – tiempo de prueba del sistema experto 4.12 horas.

- Los parámetros de tonelaje se mantuvieron entre 102 – 105 TPH.
- Se evaluó incluir más funcionalidades al sistema de control.

PROYECTO: 0285-LA MAYORA DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE CHANCADO, INQUELERA Y REACTIVOS
PLANTA CONCENTRADORA CONDENSABLE

REVISOR:

AREA: Melinda

DI: 16-05-17 TURNO: 2do PERIODO: 3:00 pm - 7:30 pm

OBJETIVO: Validar los datos en operación del molino #7

REC-LAZO CONTROL DE TONELAJE					
HORA	DENSIDAD	RETE	TONELAJE	IP	REAL
3:00 pm	1635,1 g/L	31,8 %	105,75 tn/h	106,2 tn/h	
3:18 pm	1543,05 g/L	48,76 %	106,43 tn/h	107,2 tn/h	
3:35 pm	1546,12 g/L	42,77 %	106,19 tn/h	107 tn/h	
3:51 pm	1576,75 g/L	51,26 %	105,63 tn/h	106,4 tn/h	
4:07 pm	1612,56 g/L	50,67 %	106,25 tn/h	106,2 tn/h	
4:23 pm	1693,9 g/L	55,9 %	106,87 tn/h	106	
4:39 pm	1667,05 g/L	58,14 %	105,54 tn/h	106,2 tn/h	
4:45 pm	1693,77 g/L	61,44 %	106,22 tn/h	101,2 tn/h	
5:01 pm	1672,6 g/L	39,78 %	105,51 tn/h	106,2 tn/h	
5:17 pm	1707,06 g/L	27,35 %	106,81 tn/h	105,6 tn/h	
5:33 pm	1623,15 g/L	40,66 %	106,71 tn/h	107,2 tn/h	
5:55 pm	1689,18 g/L	41,05 %	108,15 tn/h	107 tn/h	
6:17 pm	1649,61 g/L	37,99 %	104,19 tn/h	104,9 tn/h	
6:36 pm	1596,98 g/L	35,7 %	103,71 tn/h	105 tn/h	
6:46 pm	1650,41 g/L	58,13 %	104,44 tn/h	107,2 tn/h	
7:05 pm	1550,53 g/L	41,57 %	103,88 tn/h	104,8 tn/h	
7:27 pm	1633,07 g/L	37,66 %	102,81 tn/h	104,2 tn/h	
PROMEDIO					
	1635,10 g/L	45,42 %	105,6 tn/h	105,94 tn/h	

VALUACIÓN:

☒ SI ☐ NO

DISPARACIONES:

LAS VARIABLES QUE SE ESTÁN INCLUYENDO SON:

- TONELAJE

- DENSIDAD

- FLUJO DE AGUA

ASISTENTES:

NOMBRE Y APELLIDOS	EMPRESA	FIRMA
1. <u>Richard Huaman H.</u>	<u>FCR Ingeniería</u>	<u>[Firma]</u>
2. <u>ANGEL Romero A</u>	<u>CNC</u>	<u>[Firma]</u>
3. <u>Dennis Botata Pacheco</u>	<u>FCR Ingeniería</u>	<u>[Firma]</u>
4.		
5.		

Figura 4.8. Protocolo de validación en la segunda guardia fecha: 16/05/17.

Fuente: Elaboración propia.

Modificaciones realizadas en las pruebas de aceptación del proyecto día 16/05/17 – tiempo de prueba del sistema experto 4.5 horas.

- Las variables de prueba para esta validación son: Tonelaje, Densidad y Flujo de ingreso de agua.


PROYECTO: 02155-16, MODERNA DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE CHANCADO, MOIENEA Y REACTIVOS					REVISIÓN:
PLANTA CONCENTRACIONA CERRISTABLE					
AREA:	Mojicanda				
FECHA:	02/06/17	TURNO:	1 ^{er}	PERIODO:	8:00 am - 2:50 pm
OBJETIVO:	Pruebas de Sistema Experto FLC con mineral duro Mol 7				
FLC - LAZO CONTROL DE TONELAJE					
HORA	DENSIDAD	INIEL	TONELAJE	SI	
8:03 am	1607,47	62,15 %	92,37	-	
8:21 am	1581,69	66,38 %	87,96	-	
9:01 am	1498,51	51,66 %	91,71	-	
9:44 am	1651,30	56,64 %	92,26	-	
10:09 am	1670,54	62,74 %	87,41	-	
10:52 am	1661,22	51,73 %	93,28	-	
11:36 am	1670,51	59,23 %	91,45	-	
11:54 am	1654,93	59,68 %	87,34	-	
12:26 pm	1692,78	65,60 %	86,02	-	
12:44 pm	1665,61	64,39 %	90,94	-	
12:55 pm	1666,15	62,17 %	92,02	-	
13:06 pm	1675	58,85 %	91,87	-	
13:13 pm	1671,04	59,83 %	89,94	-	
13:16 pm	1662,51	63,31 %	86,47	-	
13:27 pm	1660,45	62,63 %	87,94	-	
13:49 pm	1660,46	70,97 %	90,172	-	
13:56 pm	1642,94	73,08 %	86,54	-	
PROMEDIO					
	1646,53	62,12 %	89,75 t/h		
VALIDACIÓN:					
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> </div>					
OBSERVACIONES:					
- SE CUMPLIO CON LOS REQUERIMIENTOS DE PERSONAL DE FCR. - SE BASO DISTRIBUCION DE AGUA INGRESO CAJON DE DESCARGA MOLINO #7, A SOLICITUD PERSONAL DE FCR.					
ASISTENTES:					
NOMBRES Y APELLIDOS		EMPRESA		<div style="text-align: center;">  FIRMAS </div>	
1. Richard Huaman		FCR Ingenieros			
2. ANGEL RONGA		CMC			
3.					
4.					

Figura 4.9. Protocolo de validación en la guardia completa fecha: 02/06/17.

Fuente: Elaboración propia.

Modificaciones realizadas en las pruebas de aceptación del proyecto día 02/06/17 – tiempo de

prueba 6.5 Horas.

- Se bajó la dosificación del ingreso de agua al cajón de descarga del molino.

4.3 Contraste de resultados.

Muestra representativa – Mes de Abril.

- (13/04/2017 – 20/04/2017) Datos extraídos del SYSTEM 800xa

Tabla 4 1. Muestra obtenida en el mes de abril, trabajando sin el sistema experto por 7 días.

Promedio Tonelaje	96.1238791
Promedio Densidad	1715.090644

Fuente: Elaboración propia.

Muestra representativa – Mes de Mayo.

- (13/05/2017 – 20/05/2017) Datos extraídos del SYSTEM 800xa

Tabla 4.2. Muestra obtenida en el mes de mayo con el sistema experto funcionando por 7 días.

Promedio Tonelaje	100.5895993
Promedio Densidad	1614.546331

Fuente: Elaboración propia.

De las 2 muestras representativas tomadas en los meses de abril trabajando sin el sistema experto y mayo con el sistema experto trabajando, se realiza un contraste para verificar el incremento del tratamiento de minerales, concluyendo que el proyecto obtuvo los resultados

propuestos, incrementando el proceso en hasta un 4.44% y disminuyendo la densidad en - 6%

Tabla 4.3. Contraste de resultados Abril VS Mayo.

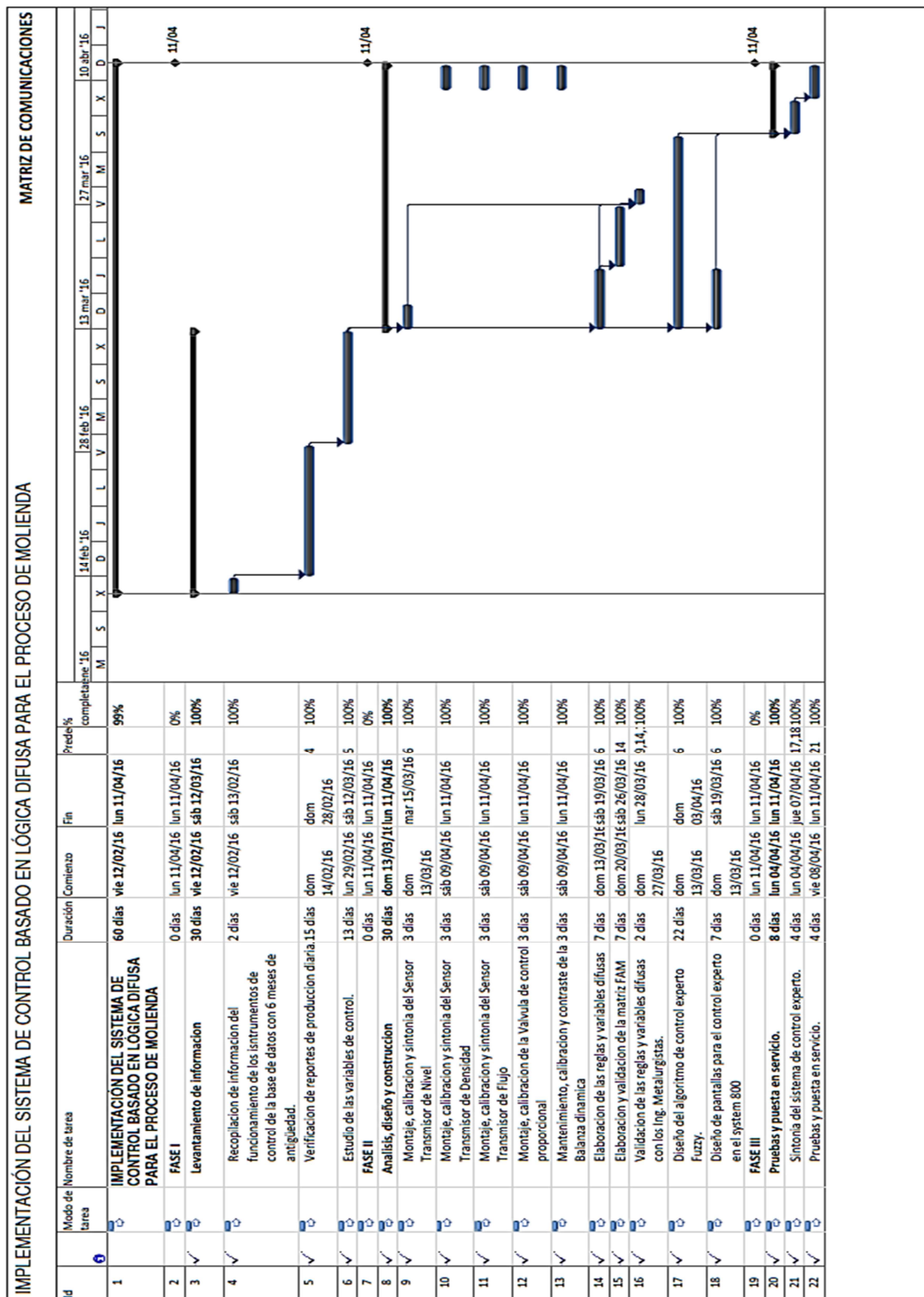
	Variación Unitaria	Variación Porcentual
Diferencia Tonelaje	4.4657199	4.44%
Diferencia Densidad	1614.546331	-6%

Fuente: Elaboración propia.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

ÍTE M	DESCRIPCIÓN	UNI D.	CAN T.	PRECIO MAT		PRECIO MO		SUBTOT AL
				PU MAT	ST MAT	PU MO	ST MO	
1.00	SISTEMA DE CONTROL FLC (FUZZY LOGIC CONTROLLER) PARA OPTIMIZACION DEL PROCESO DE MOLIENDA - MOLINO N° 7							38,163.24
1.10	DESARROLLO DE SISTEMA EXPERTO FUZZY LOGIC CONTROL (FLC) SYSTEM 800A							17,250.00
1.11	Recopilación de datos para sistema experto	glb.	1.00	0.00	0.00	4,500.00	4,500.00	
1.12	Diseño y desarrollo del algoritmo de control FLC	glb.	1.00	0.00	0.00	3,750.00	3,750.00	
1.13	Diseño de pantallas en el system 800A	glb.	1.00	0.00	0.00	3,000.00	3,000.00	
1.14	Sintonía de sistema	glb.	1.00	0.00	0.00	6,000.00	6,000.00	
	SUB-TOTAL Item.1.20				0.00		17,250.00	
1.20	CALIBRACION Y MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS							3,140.00
1.21	Mantenimiento y calibracion sensor de densidad	Und.	2.00	0.00	0.00	410.00	820.00	
1.22	Mantenimiento y Contraste de sensor de flujo de pulpa y agua	Und.	2.00	0.00	0.00	450.00	900.00	
1.23	Mantenimiento y calibración de la valvula de control	Und.	2.00	0.00	0.00	390.00	780.00	
1.24	Mantenimiento y Calibracion sensor de nivel	Und.	2.00	0.00	0.00	110.00	220.00	
1.25	Verificacion y calibración del sistema de pesaje (balanza)	Und.	1.00	0.00	0.00	420.00	420.00	
	SUB-TOTAL Item.1.30				0.00		3,140.00	
1.30	PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO							800.00
1.31	Pruebas y puesta en servicio del sistema	glb	1.00	0.00	0.00	800.00	800.00	
	SUB-TOTAL Item.1.40				0.00		800.00	
1.40	SUMINISTRO DE MATERIALES							13,712.24
1.41	Tuberia conduit galvanizada de 3/4"	und.	700.00	4.99	3,493.00	4.48	3,136.00	
1.42	Cable de control XLPE 0.6/1kV RV-K, 3x1.5 mm2	m.	1,100.00	1.63	1,793.00	1.35	1,485.00	
1.43	Cable NYY 0.6/1kV, 3x2.5 mm2	m.	148.00	1.58	233.84	1.35	199.80	
1.44	Cable de comunicaciones ProfiBus DP de 2 x 18 Awg	m.	300.00	6.14	1,842.00	1.80	540.00	
1.45	Conector Profibus DP, 90° 2x2 cable, plástico, (hasta 12Mbps/s), sin puerto extra, conexión rápida.	glb.	4.00	96.70	386.80	5.70	22.80	
1.46	Accesorios para tendido, conexionado de tuberias, cables y soporteria	glb.	1.00	580.00	580.00	0.00	0.00	
	SUB-TOTAL Item.2.40				8,328.64	0.00	5,383.60	
1.50	PROGRAMACION Y DISEÑO							3,261.00
1.51	Integracion de señales al Sistema System 800 ABB	glb.	1.00	0.00	0.00	2,286.00	2,286.00	
1.52	Diseño de pantallas l system 800ABB	glb.	1.00	0.00	0.00	975.00	975.00	
	SUB-TOTAL Item.2.50				0.00		3,261.00	
SUB-TOTAL COSTO DIRECTO					8,328.64		29,834.60	
COSTOS DIRECTOS								38,163.24
GASTOS GENERALES (15%)								5,724.49
UTILIDAD (10%)								2,983.46
TOTAL PRESUPUESTO US\$								46,871.19

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO



CONCLUSIONES

- Se llegó a analizar a fondo con los datos sacados del sistema los problemas de funcionamiento del sistema de control anterior.
- Con el sistema experto en funcionamiento, fue posible estabilizar el proceso de molienda.
- Con el sistema experto puesto en servicio se garantiza un funcionamiento constante sin paradas intempestivas.
- El sistema experto permite tener mayor control, almacenamiento de información de estado para futuras mejoras y monitoreo en tiempo real del molino.

RECOMENDACIONES

- Evaluación constante al circuito de molienda para verificar el comportamiento del sistema experto y seguir cargando experiencias y conocimiento de mejoras al sistema experto.
- Realizar y cumplir un programa de mantenimiento de todos los instrumentos en campo involucrados en el control de molienda de minerales ya que de esta información depende el buen control del sistema experto.
- Se debe cambiar el tipo de control de experto a tradicional solo si las lecturas de los instrumentos no son confiables.

BIBLIOGRAFÍA

- Prasath, G., Recke, B., Chidambaram, M., Jorgensen, J., Compute, D., & Lyngby, K. (2013).** *Soft constrained based mpc for robust control of a cement grinding circuit. In Preprints of the 10th IFAC international Symposium on Dynamics and control of process System*, Mumbai, India, pages 475-480.
- Le Roux, J., Padhi, R., & Craig, I. (2014).** *Optimal control of grinding mil circuit using model predictive static programming: a new nonlinear MPC paradigm. Journal of Process control*, 24(12): 29-40.
- Chilicce, V & Rojas, R. (2012).** *Implementación del sistema experto en molinos para optimizar la molienda del circuito de cobre en la planta concentradora de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. (Tesis para título profesional). Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo, Perú.*
- Escrig, A., (2007),** *Revolución de la Lógica Difusa*. Antena de comunicación. N°07, 38-39.
- Von Altrock, C. (1995).** *Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Applications Explained*. University of California Publications. Prentice Hall PTR.
- Perez, R.A.M. (2010).** *Sistemas de inferencia basados en lógica borrosa: Fundamentos y caso de estudio*. *Revista de investigación de Sistemas e Informática*, 7(1):91–104.

Theler, G. (2007). *Controladores basados en lógica difusa y loops de convección natural caóticos.* PhD thesis, Universidad Nacional de Cuyo.

Wolkenhauer, O. (1997). *A course in fuzzy systems and control.* International Journal of Electrical Engineering Education.

Takagi, T. and Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (1):116–132.

GLOSARIO

I/O: Input and output

SCOA: Suma de los centros de áreas

FAM: Fuzzy Association Matrix

FIT: Indicador transmisor de flujo

FIC: Indicador controlador de apertura de válvula

DIT: Indicador transmisor de densidad

VFD: Variable Frequency Drive

TPH: Toneladas por hora

CMD: Editor de comandos

PV: Variable de control

FLC: Fuzzy Logic Controller

DCS: Sistema de control distribuido

ANEXOS

Anexo A: Manual de Operaciones del sistema diseñado.

MANUAL DE OPERACIÓN

CONTROL EXPERTO PROCESO MOLIENDA



COMPAÑÍA MINERA CONDESTABLE S.A.**PROYECTO N° 0235-17**
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
EXPERTO PARA EL MOLINO 7**MANUAL DE OPERACIÓN**

CMC-MO-0235-17

Preparado por:

PK SOLUCIONES S.A.C.

CONTROL DE REVISIONES:

Rev.	Elaborado		Revisado		Fecha	CHK'D	Emitido para
	Iniciales	Firma	Iniciales	Firma			
A	R.H.		H.H.		20/05/17	√	Rev. Interna
B							Cliente

MAYO 2017

CONTENIDO

1. OBJETIVO.....	3
2. INSTRUCCIONES DE INICIO DE PANTALLA.....	3
A. INGRESO A LA PANTALLA CONTROL EXPERTO MOLINO 7.....	3
3. MODOS DE OPERACIÓN.....	6
3.1 MODO MANUAL.....	6
3.2 MODO EXPERTO.....	6
B. INGRESO DE RANGOS DE TONELAJE DESDE PANTALLA.....	7
C. INTERFACE DEL MODO EXPERTO.....	9
D. INGRESO A VENTANA DE TENDENCIAS.....	2
E. PERIODO DE TENDENCIAS.....	13
F. CARACTERISTICAS DE TRAZO DE PARAMETRO.....	14
4. FALLAS QUE OCASIONAN UN MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EXPERTO.....	14
4.1. PÉRDIDA DE COMUNICACIÓN MODBUS.....	14
4.2. FALLA DE LA INSTRUMENTACION DEL MOLINO 7.....	15
5. RECOMENDACIONES.....	16

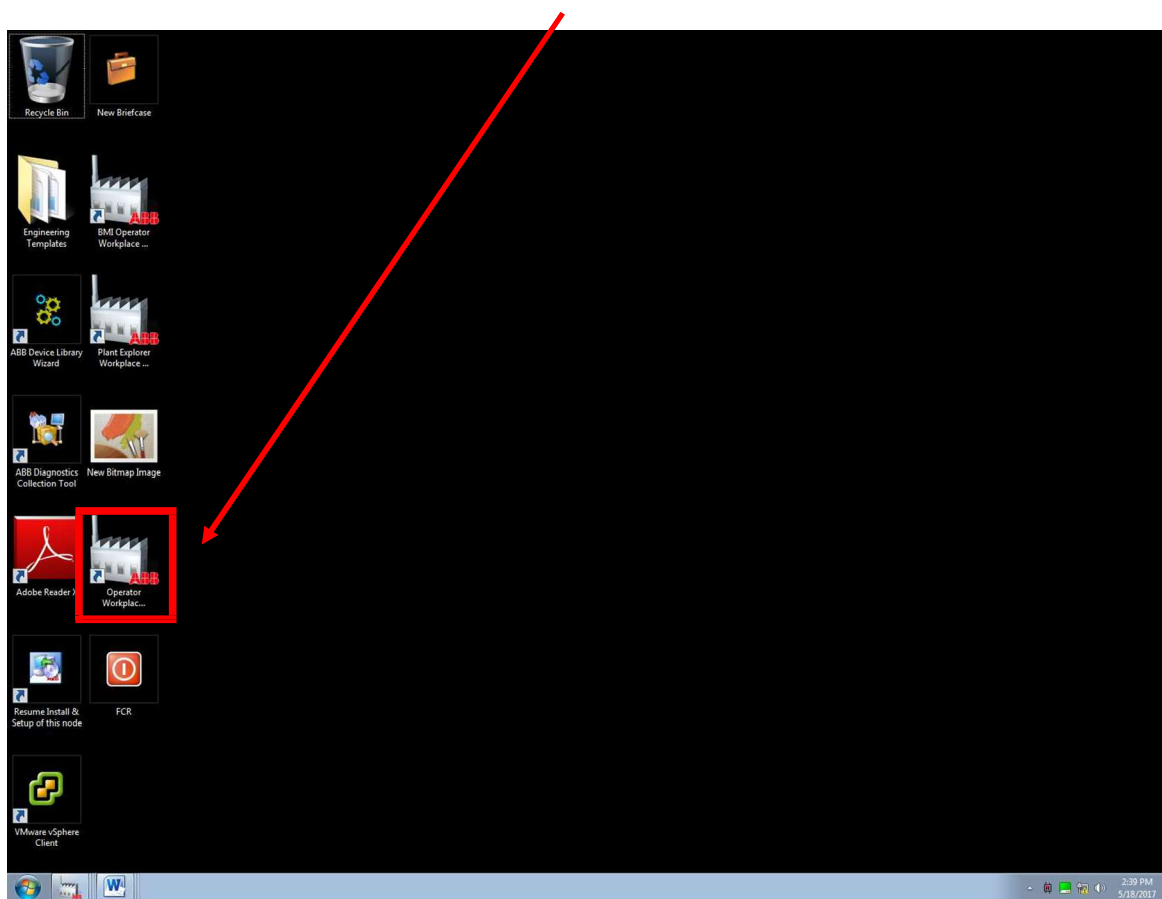
1. OBJETIVO

Establecer los procedimientos que permitan manejar adecuadamente el sistema de instalado para el control experto de molienda.

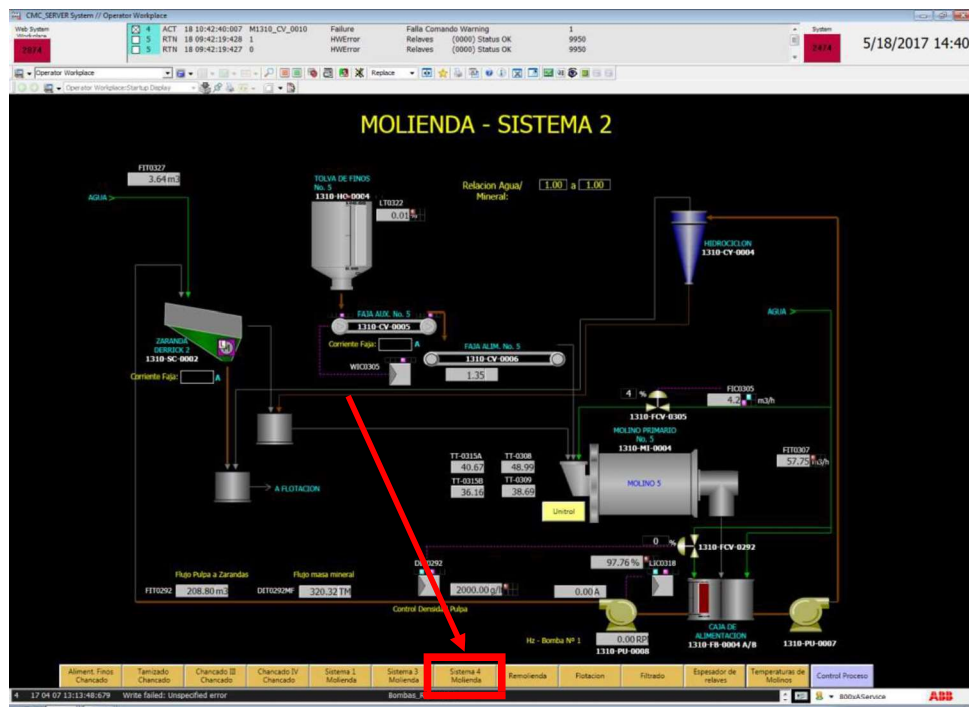
2. INSTRUCCIONES DE INICIO DE PANTALLA

A. INGRESO A LA PANTALLA CONTROL EXPERTO MOLINO7

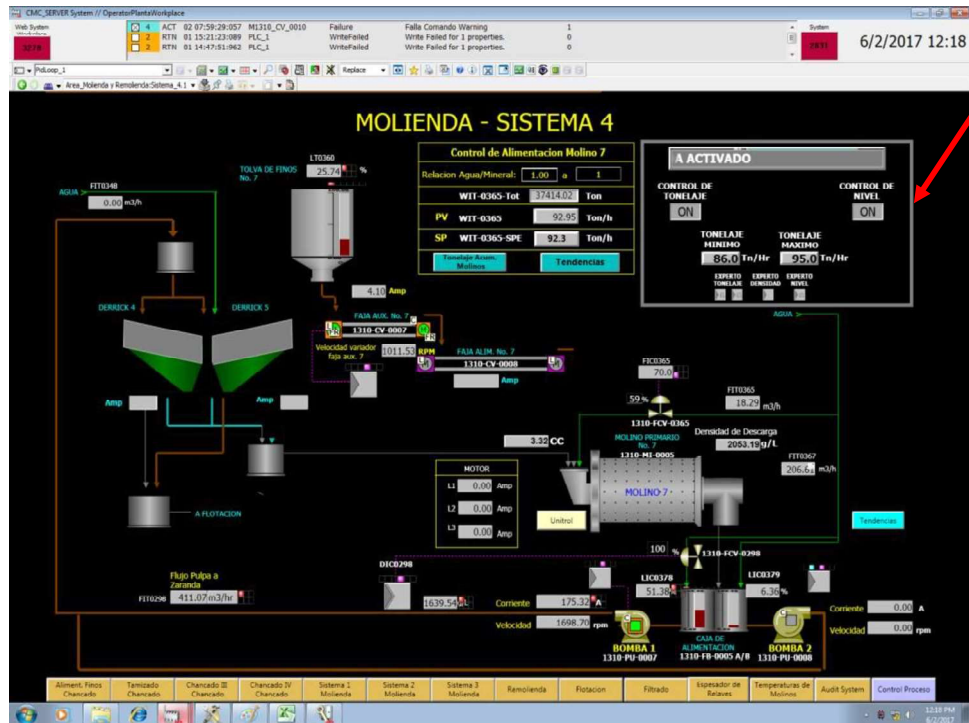
- ❖ Se puede ingresar a la pantalla de molienda desde el cuarto de control de molienda, hacer doble click en Operator Workplace.



❖ Aparecerá la siguiente pantalla, hacer click en Sistema 4 Molienda.



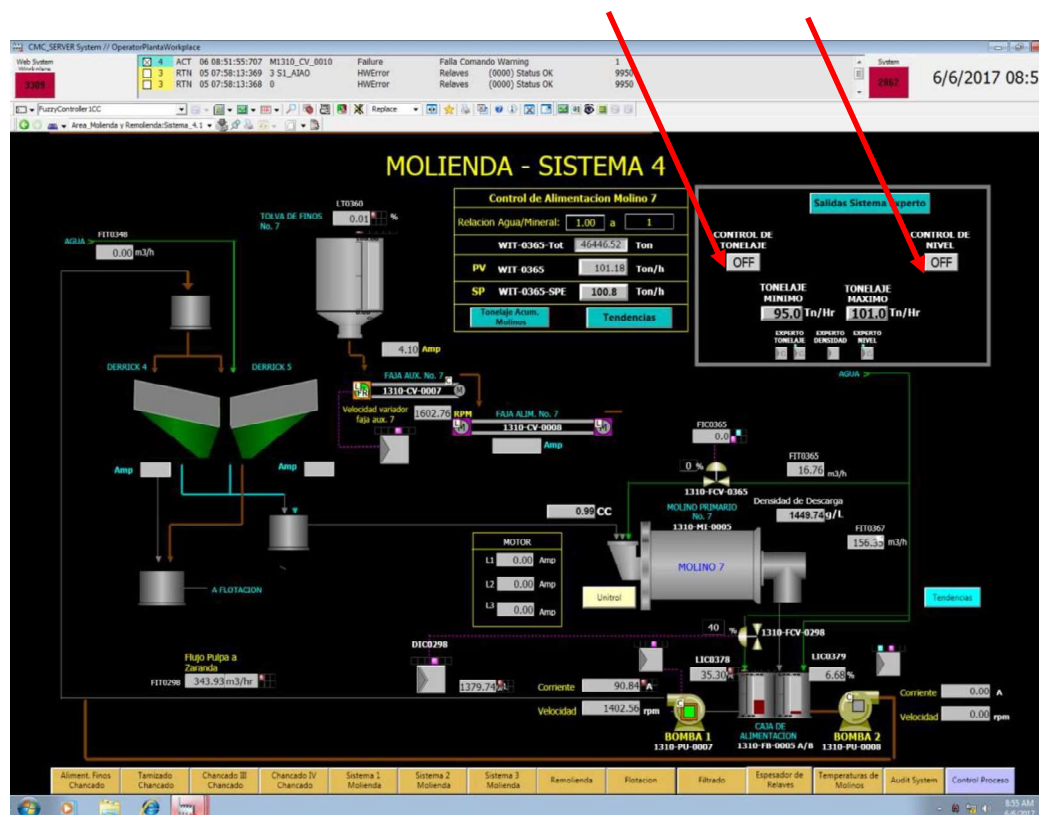
❖ Aparecerá la siguiente pantalla, en la parte superior derecha se encuentra los controles del sistema experto.



3. MODOS DE OPERACIÓN

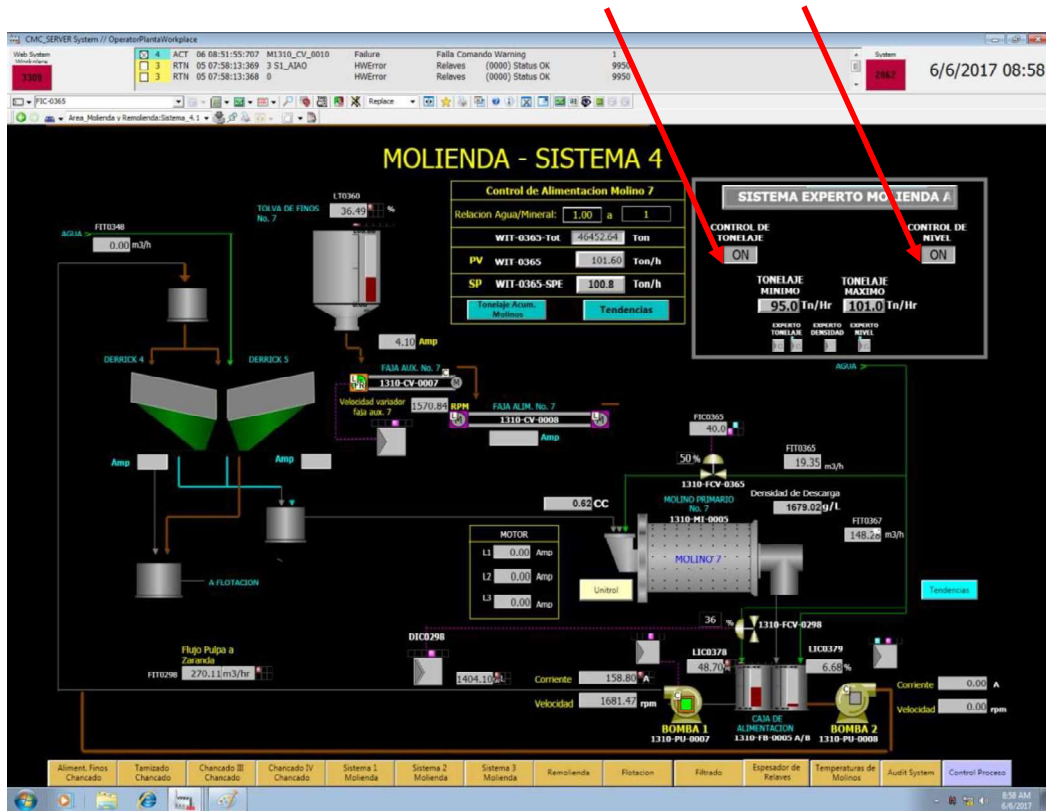
Dentro de la pantalla Sistema 4 Molienda se muestran dos modos de operación:

- 3.1 Modo Manual: En este modo de operación el control del proceso de molienda se realiza tal como era antes de instalar el sistema experto.
- ❖ En modo Manual, los botones del sistema experto están en modo OFF.



- 3.2 Modo Remoto: En este modo se tiene el control de los variadores de velocidad VFD de la faja de alimentación de carga y de la bomba del cajón. También se tiene control de las válvulas de control de agua del molino.

- ❖ En modo experto, los botones del sistema experto están en modo ON.
- ❖ Cuando se pasa de modo manual a modo automático, los variadores y las válvulas siguen trabajando de forma normal.



- Botón Control Tonelaje: Al activar este botón el sistema experto tomara el control del VFD de la faja de alimentación y de la válvula de agua de ingreso al molino.

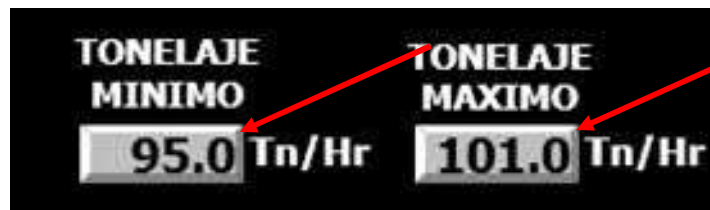


- Botón Control Nivel: Al activar este botón el sistema experto tomara el control del VFD de la bomba de descarga del cajón del molino y de la válvula de agua de cajón del molino.

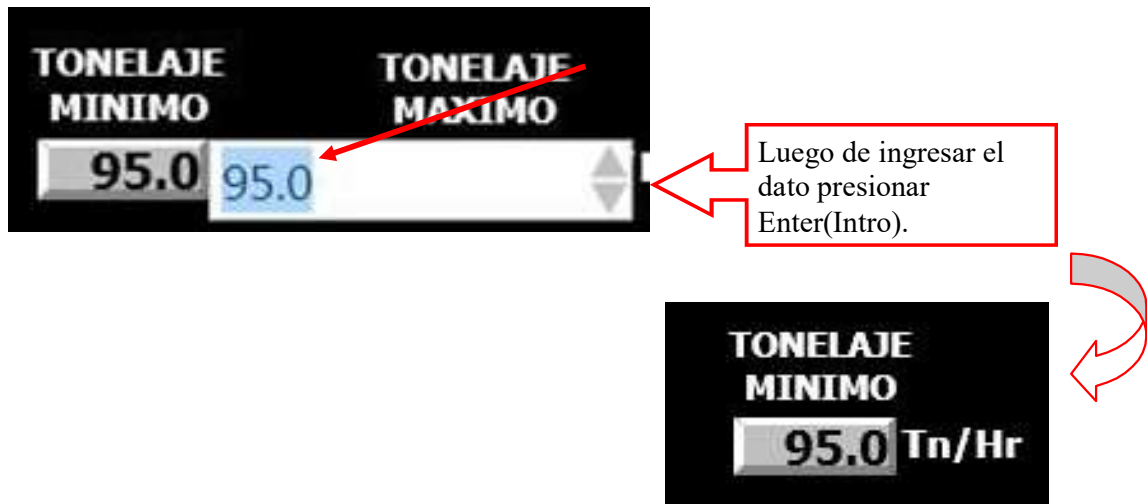


B. INGRESO DE RANGOS DE TONELAJE DESDE PANTALLA

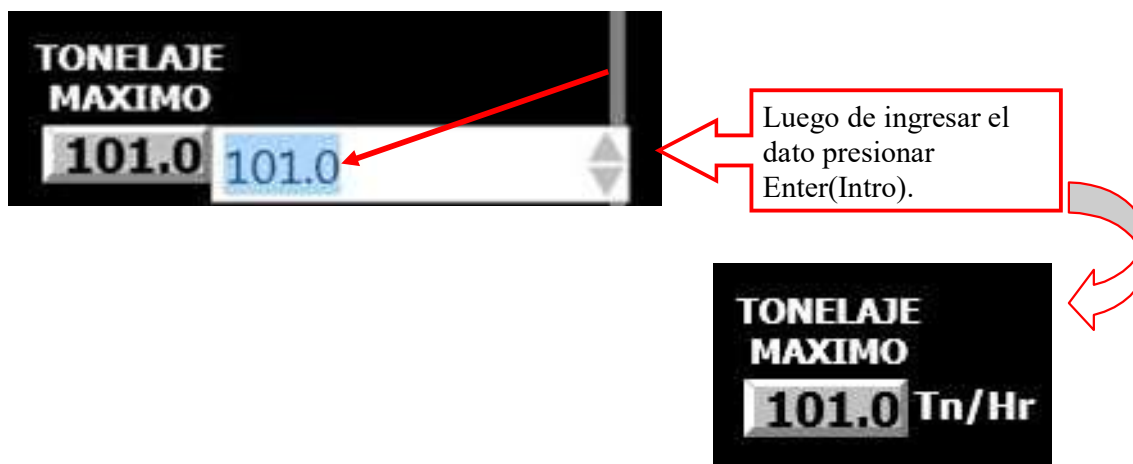
- Ingreso de rango de tonelaje desde la pantalla del operador, el rango de control de tonelaje se debe de ingresar en este modo, desde el teclado de la consola de operación en la siguiente viñeta. Para una óptima operación la diferencia entre el valor mínimo y máximo debe ser de 15 Ton/Hr.



- ❖ En modo experto, presionar el botón debajo del texto tonelaje mínimo y digitar el valor de tonelaje mínimo que requiere la operación, luego presionar Enter (Intro).



- ❖ En modo experto, presionar el botón debajo del texto tonelaje máximo y digitar el valor de tonelaje máximo que requiere la operación, luego presionar Enter (Intro).



C. INTERFACE DEL MODO EXPERTO



1. Botón ON/OFF de control de tonelaje: Sirve para activar o desactivar el sistema experto de control de tonelaje.
2. Botón ON/OFF de control de nivel: Sirve para activar o desactivar el sistema experto de control de nivel y densidad.
3. Botón Tonelaje Mínimo: Sirve para colocar el valor de tonelaje mínimo con el que va a trabajar el sistema experto.
4. Botón Tonelaje Máximo: Sirve para colocar el valor de tonelaje máximo con el que va a trabajar el sistema experto.
5. Botón Sistema Experto Control VFD Faja Alimentación: Sirve para acceder a los parámetros básicos del bloque fuzzy que controla el variador de la faja de alimentación.



6. Botón Sistema Experto Control Válvula Agua Ingreso a Molino: Sirve para acceder a los parámetros básicos del bloque fuzzy que controla la apertura de la válvula de agua de ingreso a molino. Por cuestiones de operación esta válvula trabajara en modo manual.



7. Botón Sistema Experto Control Densidad: Sirve para acceder a los parámetros básicos del bloque fuzzy que controla la densidad a la salida del molino 7 mediante la válvula de agua de ingreso a cajón.



8. Botón Sistema Experto Control Nivel: Sirve para acceder a los parámetros básicos del bloque fuzzy que controla el nivel del cajón mediante la variación de la velocidad de referencia del variador de la bomba de descarga del cajón.



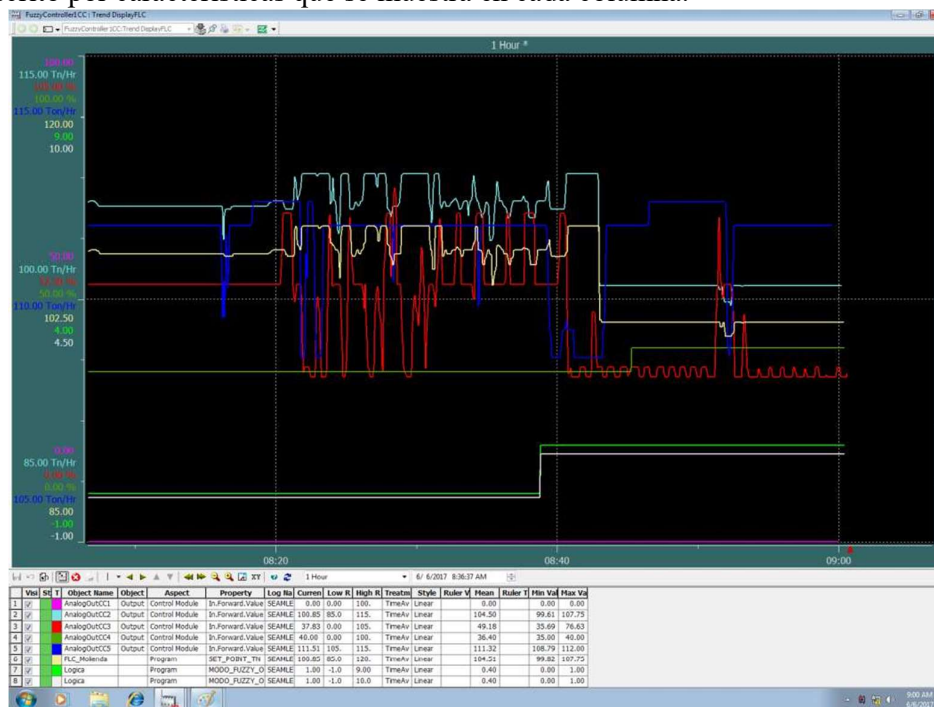
D. INGRESO A VENTANA DE TENDENCIAS

Para acceder a las tendencias realizar los siguientes pasos:

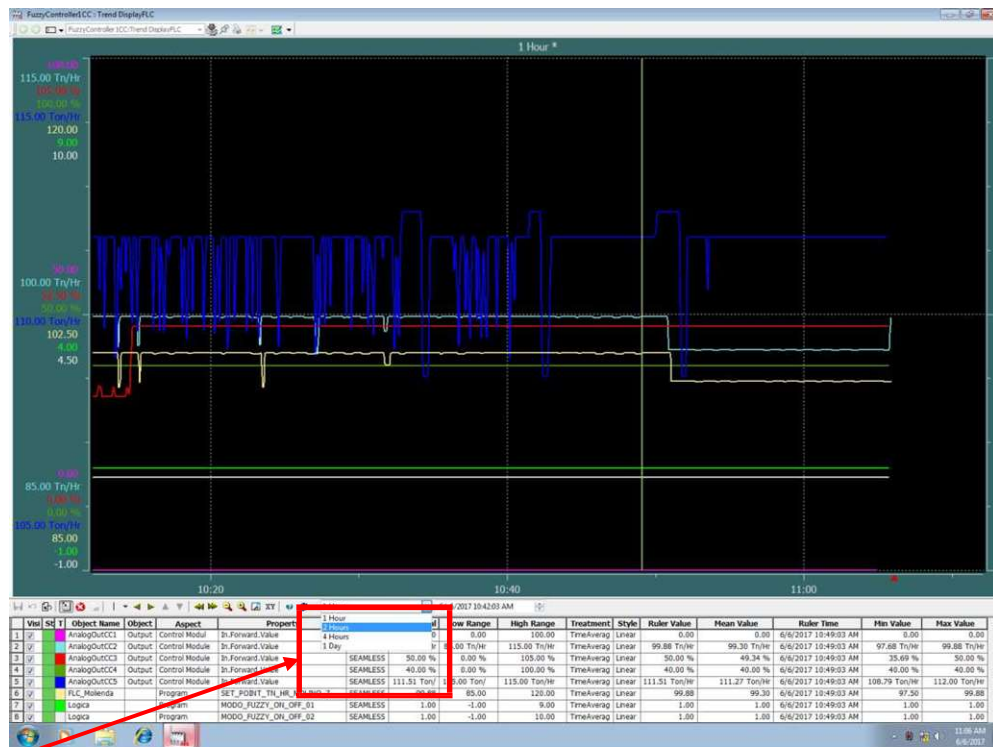
1. Presionar el siguiente botón:



Aparecerá la siguiente ventana en la que se pueden observar las tendencias de los parámetros que determinan la operación del sistema experto, cada parámetro está descrito por características que se muestra en cada columna.



E. PERIODO DE TENDENCIAS



Aquí se selecciona el periodo que desea que se muestre, se tienen las siguientes opciones.

Si escoge 1 Hour, esto indicará que se va a tener una ventana de 1 hora de tiempo, si se escoge 1 Day, se tendrá una ventana de 1 día.

F. CARACTERÍSTICAS DE TRAZO DE PARÁMETRO

	Visi	St	T	Object Name	Object	Aspect	Property	Log Name	Current Val
1	✓			AnalogOutCC1	Output	Control Modul	In.Forward.Value	SEAMLESS	0.00
2	✓			AnalogOutCC2	Output	Control Modul	In.Forward.Value	SEAMLESS	99.88 Tn/Hr
3	✓			AnalogOutCC3	Output	Control Modul	In.Forward.Value	SEAMLESS	50.00 %
4	✓			AnalogOutCC4	Output	Control Modul	In.Forward.Value	SEAMLESS	40.00 %
5	✓			AnalogOutCC5	Output	Control Modul	In.Forward.Value	SEAMLESS	111.51 Ton/
6	✓			FLC_Molinda	Program	SET_POINT_TN_HR_MOLINO_7	SEAMLESS	99.90	
7	✓			Logica	Program	MOD0_FUZZY_ON_OFF_01	SEAMLESS	1.00	
8	✓			Logica	Program	MOD0_FUZZY_ON_OFF_02	SEAMLESS	1.00	

- Visible: si se desea que se muestre el parámetro dar check en la casilla
- Status: si se encuentra en color verde quiere decir que el parámetro tiene activado su registro de datos
- Trace Color: es el color del trazado del parámetro
- Property: es el nombre del parámetro, cada parámetro ha sido descrito líneas arriba.
- Current Value: es el valor actual que se está comenzando a trazar

Low Range	High Range	Treatment	Style	Ruler Value	Mean Value	Ruler Time	Min Value	Max Value
0.00	100.00	TimeAverag	Linear	0.00	0.00	6/6/2017 10:45:16 AM	0.00	0.00
85.00 Tn/Hr	115.00 Tn/Hr	TimeAverag	Linear	99.88 Tn/Hr	99.30 Tn/Hr	6/6/2017 10:45:16 AM	97.78 Tn/Hr	99.93 Tn/Hr
0.00 %	105.00 %	TimeAverag	Linear	50.00 %	49.50 %	6/6/2017 10:45:16 AM	35.69 %	50.00 %
0.00 %	100.00 %	TimeAverag	Linear	40.00 %	40.00 %	6/6/2017 10:45:16 AM	40.00 %	40.00 %
105.00 Ton/	115.00 Ton/Hr	TimeAverag	Linear	111.51 Ton/Hr	111.27 Ton/Hr	6/6/2017 10:45:16 AM	108.79 Ton/Hr	112.00 Ton/Hr
85.00	120.00	TimeAverag	Linear	99.88	99.30	6/6/2017 10:45:16 AM	97.50	99.93
-1.00	9.00	TimeAverag	Linear	1.00	1.00	6/6/2017 10:45:16 AM	1.00	1.00
-1.00	10.00	TimeAverag	Linear	1.00	1.00	6/6/2017 10:45:16 AM	1.00	1.00

- Low and High Range: son los rangos mínimos y máximos del parámetro
- Ruler Value, Ruler Time: cuando se muestra la regla, estas casillas te muestran el valor y el tiempo donde se encuentra la regla

4. FALLAS QUE OCASIONAN UN MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EXPERTO

4.1. PÉRDIDA DE COMUNICACIÓN MODBUS.

FALLAS DE HARDWARE

- ✓ Daño físico en el cable de comunicación a lo largo de su extensión o del conector RJ45.
- ✓ Falla en el módulo de comunicación Modbus de ABB.

FALLAS DE SOFTWARE

- ✓ Des configuración del mapeo Modbus
- ✓ Procedimiento Incorrecto de descarga al controlador ABB.

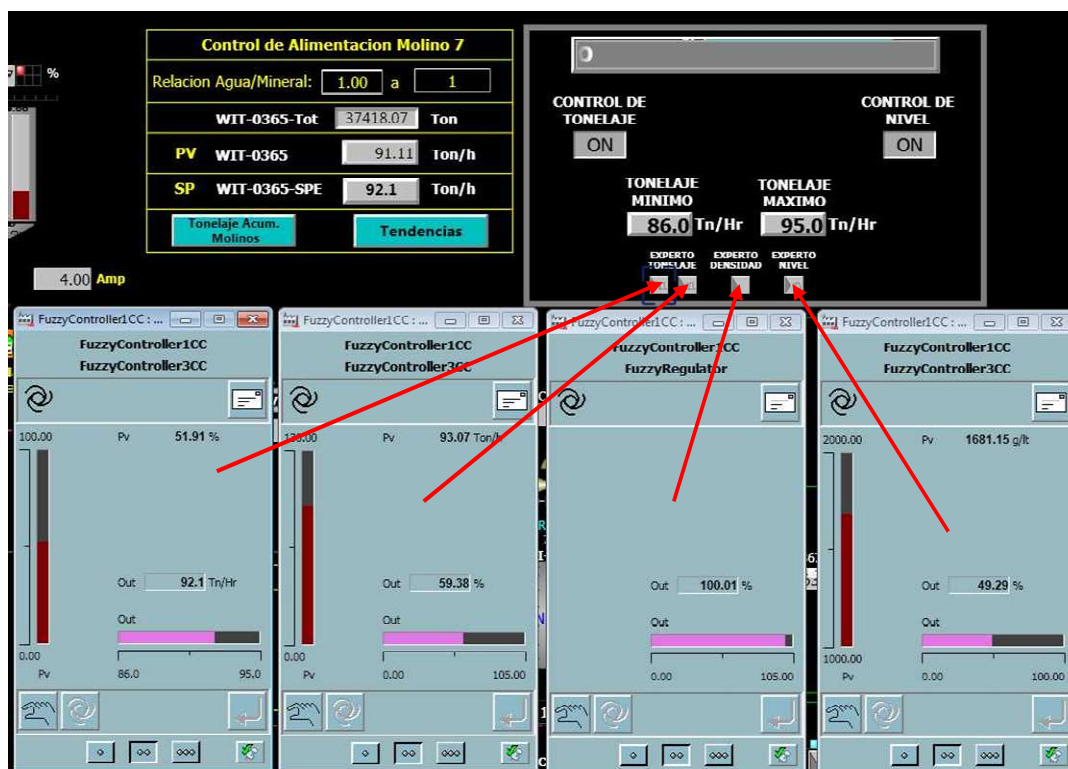
Para detectar esta falla, en la pantalla aparecerá un ASPA de color ROJO.

4.2 FALLA DE LA INSTRUMENTACION DEL MOLINO 7

Cualquier falla en la lectura u operatividad de los instrumentos del molino 7 ocasionara un mal funcionamiento del sistema experto, en ese caso la recomendación seria sacar de línea al sistema experto y trabajar en modo manual.

5. RECOMENDACIONES

- Después de realizar una descarga en frío al controlador de Molienda, los bloques fuzzy de sistema experto vuelven a su valor por defecto que es modo manual, así que después de realizar una descarga en frío se recomienda revisar todos los bloques del sistema FLC y colocarlos en modo automático.



- Cuando la operación se encuentre con insuficiencia de carga se recomienda pasar la operación a modo manual hasta estabilizar el proceso.
- Después de una parada prolongada de la planta, se recomienda reiniciar la operación en modo manual y esperar una hora hasta que se establezca el proceso, después de ese tiempo dar pase al sistema experto.

28 de agosto de 2017.

Gracias

